

Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter Professor Dr. med. dent. Hans Lenz)
des Instituts für
Klinisch-Theoretische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereichs Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

**RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN
DER STRUKTUR DES ZAHNSCHMELZES IM FISSURENBEREICH**
Ein Beitrag zum Problem der Fissurenversiegelung

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Peter Purucker
aus Marktredwitz

1983





Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter Professor Dr. med. dent. Hans Lenz) des Instituts für
Klinisch-Theoretische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des
Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN
DER STRUKTUR DES ZAHNSCHMELZES IM FISSURENBEREICH.
EIN BEITRAG ZUM PROBLEM DER FISSURENVERSIEGELUNG.

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Peter Purucker
aus Marktredwitz

Referent : Professor Dr. med. dent. Hans LENZ

Korreferent: Professor Dr. med. dent. Siegfried WANDEL

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Zahn-, Mund-
und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 1. 12. 1983

MEINEN ELTERN

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	7
2. LITERATURÜBERSICHT	9
2.1. Entwicklung der Fissuren	9
2.2. Endogene Ursachen der großen Häufigkeit der Fissurenkaries	12
2.3. Exogene Faktoren als Gründe für das häufige Auftreten der Fissurenkaries	17
2.4. Schmelzstruktur und Fissurenversiegelung	23
3. MATERIAL UND METHODE	27
3.1. Material	27
3.2. Methode	27
3.2.1. Präparatherstellung	27
3.2.2. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen des Zahnschmelzes	28
3.2.3. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Adhäsiv-Matrizen	29
3.2.4. System der Untersuchungen am REM	30
4. ERGEBNISSE UND ABBILDUNGEN	31
4.1. REM-Untersuchungen des Zahnschmelzes im Fissurenbereich	31
4.1.1. Beobachtungen an kariesfreien, ungeätzten Fissuren	31
4.1.2. Beobachtungen an kariesfreien, geätzten Fissuren	38
4.1.3. Beobachtungen an Fissuren mit Kariesinitial	42
4.2. REM-Untersuchungen von Adhäsiv-Matrizen des Fissurensystems	49

4.2.1.	Beobachtungen an Adhäsiv-Matrizen, hergestellt nach mechanischer Entfer- nung des Schmelzoberhäutchens	49
4.2.2.	Beobachtungen an Adhäsiv-Matrizen, hergestellt nach Entfernung des Schmelzoberhäutchens durch NaOCl	55
5.	DISKUSSION	57
6.	ZUSAMMENFASSUNG	73
7.	LITERATURVERZEICHNIS	75

1. EINLEITUNG

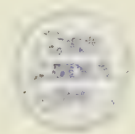
Fissuren, wie sie regelmäßig bei Milchmolaren, bleibenden Prämolaren und Molaren auftreten, sind enge Furchen in der Schmelzoberfläche von unterschiedlicher Tiefe. Die Gestalt der Fissuren menschlicher Zähne ist nur wenig untersucht worden (Nagano, 1961; König, 1963; Fejerskov et al., 1973).

Sowohl die Fissurentiefe, der okklusale Eingangswinkel, die Fissurenbreite, wie auch die Schmelzdicke am Fissurengrund variieren sehr stark innerhalb eines einzelnen Molaren (Schroeder, 1976).

Wie schon Black (1908) feststellte, sind okklusale Fissuren Prädilektionsstellen der Karies. In bleibenden Zähnen von 13 Jahre alten Schulkindern sind bereits 45% aller Fissuren kariös, obwohl sie nur 12,5% der angreifbaren Flächen in diesem Alter darstellen (Day und Sadwick, 1935).

Okklusale Karies bleibt ein signifikantes Problem, das anscheinend auch mit der Trinkwasserfluoridierung nicht gelöst werden kann, denn sie zeigt im Fissurenbereich die geringste Wirkung (Horowitz und Peterson, 1966).

Über die Ursachen der erhöhten Kariesanfälligkeit der Fissuren gehen die Meinungen in der Literatur erheblich auseinander. Ein Teil der Autoren sieht eine möglicherweise schlechtere Mineralisation in diesem Bereich als bedeutungsvoll an, wohingegen für eine andere Gruppe die Gestalt der Fissur mit ihren Retentionsmöglichkeiten für Speisereste und Mikroorganismen der Grund für ein frühzeitiges Kariöswerden darstellen soll.



Ziel dieser Dissertation soll es sein die Kariesätiologie okklusaler Fissuren näher zu untersuchen. Mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops soll festgestellt werden, ob tatsächlich eine minderwertige Mineralisation vorliegt, oder ob die Form der Fissur die entscheidende Ursache der Fissurenkaries ist, und welche Möglichkeiten der Kariesprophylaxe die Fissurenversiegelung bietet.

2. L I T E R A T U R Ü B E R S I C H T

2.1. Entwicklung der Fissuren

Der menschliche Zahnschmelz wurde lange Zeit als ein aus Fasern aufgebautes Gewebe beschrieben (Harvers, 1689 zit. nach Schroeder, 1976). Je nach den zur Zeit der jeweiligen Untersucher vorhandenen Instrumente und ihres Auflösungsvermögens wurden die sogenannte Hunter-Schregersche Streifung ($\emptyset$ etwa 50 μm), die Schmelzprismen (Breite etwa 5 μm), die die Prismen aufbauenden Kristallite (Länge etwa 0,1 - 0,2 μm) und schließlich Anteile der organischen Matrix als Schmelzfasern oder Fibrillen bezeichnet (Lenz, 1958). Eine Zeitspanne von nahezu 300 Jahren mußte vergehen, um eine relativ klare Vorstellung zu gewinnen, wie normaler Zahnschmelz gebildet wird, woraus er besteht und in welcher Weise er strukturiert ist.

Zu Beginn dieses Jahrhunderts wurde die Okklusalfläche von Zähnen sowie die Bildung von Fissuren intensiver untersucht. In dieser Zeit veröffentlichten Schour und Massler (1940) ihre "Studies in Tooth Development". Sie gehen davon aus, daß die Schmelzbildung einer Molarenkrone an jeweils einem Wachstumszentrum für einen Höcker beginnt. Von diesem erfolgt die Schmelzapposition Schicht für Schicht, wobei sich die Ränder der Schmelzkappen immer näher kommen, bis sie schließlich verschmelzen. Liegen die Wachstumszentren weit auseinander, wie bei den großen Molaren, dann ereignet sich die periphere Verschmelzung relativ spät. Die Ameloblasten geraten in den Spalt zwischen diesen Schmelzkappen, stauen sich hier, werden unzureichend versorgt und degenerieren frühzeitig.

Dadurch bilden sich tiefe Fissuren zwischen den Höckern.
(Abb. 1)

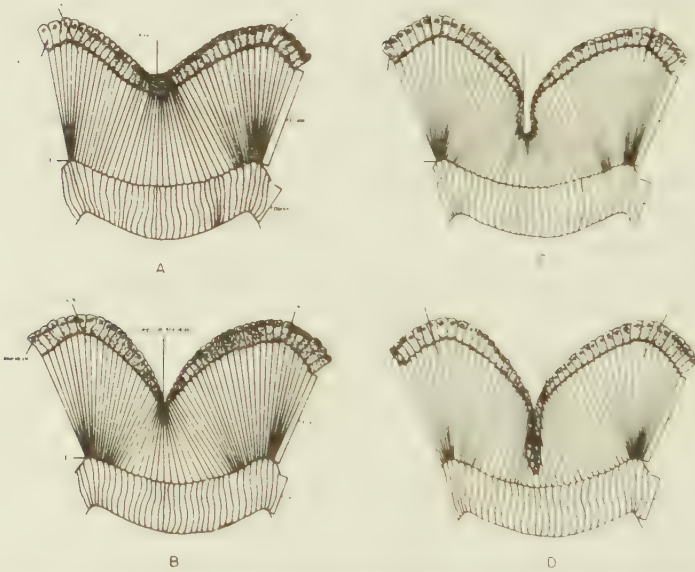


Abb. 1. Schematische Darstellung der Entwicklung der Krone eines Zahns. A. Anfangsstadium. B. Erste Fissur. C. Zweite Fissur. D. Endstadium.

Wenn die Wachstumszentren näher beieinander liegen, wie bei den Incisivi, stauen und strangulieren sich die Ameloblasten nicht. Die Fusion erfolgt frühzeitig und fast vollständig. Es entwickeln sich daher labial nur flache Rinnen im Schmelz.

Nach der Vorstellung von Kronfeld (1935) verschmelzen die Bildungszentren der einzelnen Höcker schon ein halbes Jahr nach Beginn der Amelogenese. Drei Monate später ist bei den ersten beiden Molaren die gesamte Okklusalfläche mit einer Schmelzschicht bedeckt. In dieser Entwicklungsphase beobachtet Kronfeld an mikroskopischen Schnitten kleine Ablagerungen von Schmelz auf den Höckerabhängen, die rasch größer werden (Abb. 2, Phase b und c).

Das proliferative Wachstum dieser Tuberkula impliziert eine Verkleinerung des "Tales". Hierdurch entsteht ein enger Spalt (Abb. 2, Phase d) (Rotgans und Tobien, 1981).

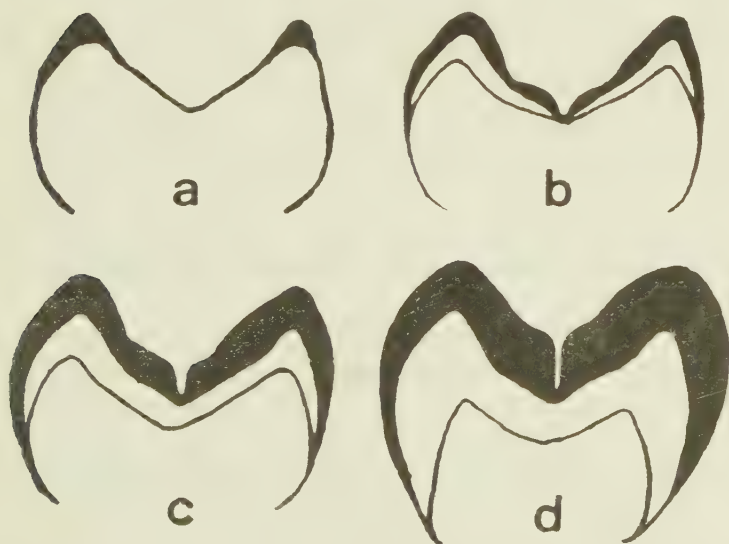


Abb. 2: Entwicklung der Kaufläche eines Molaren (nach Kronfeld 1935)

In bezug auf die Terminologie der Fissuren gibt es sowohl im deutschen, als auch im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch unterschiedliche Auffassungen. Speziell in der deutschen Fachliteratur wird auf eine Differenzierung im Hinblick auf die Morphologie des Zahnes nicht geachtet.

Im Lateinischen gäbe es folgende Termini:

fissura = Spalt, Ritze

fossa = Graben

sulcus = Furche, kleiner Graben, längliche Vertiefung

Die tiefen Stellen des Kauflächenreliefs müßten demnach eigentlich sulcus heißen und die anderen häufig vorzufindenden Invaginationen des Zahnschmelzes sollten als Fissuren bezeichnet werden. Auf der anderen Seite aber kritisieren Gillings und Buonocore (1961) sogar eine in diesem Sinne vom Dictionary of Dental Science and Dental Art getroffene Begriffstrennung für den englischen Sprachgebrauch.

2.2. Endogene Ursachen der großen Häufigkeit von Fissurenkaries

Ausgehend von der Vorstellung Schours und Masslers lag es nahe das frühzeitige Kariöswerden der Fissuren durch eine Hypomineralisation, bzw. eine minderwertige Schmelzstruktur erklären zu wollen.

Schon frühere Autoren wie Black, Bödecker und Hyatt beschäftigten sich intensiv mit der Untersuchung der okklusalen Oberfläche der Zähne. Unser Bild von der Fissurenkaries wurde von diesen Pionieren lange Zeit geprägt.

Black (1914) leitete aus seinen Untersuchungen die sogenannten "Blackschen Regeln" der Kavitätenpräparation her. Sie können durch den Satz "Extension for Prevention" charakterisiert werden. Black erkannte nämlich die Bedeutung der Fissuren und Grübchen als Prädilektionsstellen der Karies und forderte daher das prophylaktische Aufziehen noch nicht klinisch sichtbar kariöser Bereiche der Fissur, falls eine Kavitätenpräparation am Zahn erfolgen muß.

Bödecker (1929) schrieb, daß Fissuren Fehler im Zahnschmelz seien, die durch das Sich-Nicht-Vereinigen von verschiedenen Schmelzsegmenten der Zahnkrone zustande kämen. Sie sollten immer als potentielle Kavitäten angesehen werden, da der schützende Panzer des Schmelzes hier unvollständig sei. In ihnen sieht er einen Retentionsort für Bakterien und Speisereste, der das prophylaktische Erweitern der Fissuren benötigt, um ihn der Reinigung durch die Zahnbürste zugänglich zu machen. Dabei unterscheidet Bödecker zwischen Zähnen mit einer "self-cleansing groove", also einer breiten Fissur, die sich selbst reinigt und daher keiner Behandlung bedarf, und der "occlusal fissure", die das Pathologische darstellt und zur breiten Fissur erweitert werden soll. Auf Schwierigkeiten stößt Bödecker, wenn sich die Fissur bis nahe an die Schmelz-dentingrenze erstreckt und es somit beim Ausschleifen zum Freilegen von Dentin käme.

Zur Lösung dieses Problems schlug schon Hyatt (1923) in seiner Prophylactic Odontotomy vor, die Fissuren zu erweitern und sie dann mit konventionellen Füllungsmaterialien wie Amalgam zu versorgen. Eine Methode, die auch von Drum (1954) als prophylaktische Maßnahme durch die, wie er es nennt, "Schliff-Punkt-Füllung" gefordert wurde.

Andere Untersucher haben Kaliumferrocyanid, Silbernitrat oder Natriumfluorid appliziert, in der Hoffnung die Fissur vor Karies zu schützen. Alle diese Techniken führten aber nicht zum gewünschten Erfolg.

Fast zur gleichen Zeit veröffentlichte Hodson (1950) seine Untersuchung der "T-hypoplasia". Nach langsamer Dekalzifizierung von Zähnen und Herstellen von Mikroschnitten fand er tiefe Einstülpungen im Zahnschmelz, für die er diesen Terminus benutzte. Er hielt diese Bezirke des Zahnes für die "Manifestation einer aufgehaltenen Amelogenesis, die oft mit einer fehlerhaften Matrixbildung einhergeht."

Einige Jahre später untersuchte Awazawa (1966) diese Region des Zahnschmelzes. Seine Beobachtungen machte er an Acetylzelluloseabdrücken, die er von Brüchen der Zahnkrone anfertigte. Awazawa ist der Ansicht, daß der Boden der Fissur meist aus prismenfreiem Schmelz besteht und sich darunter eine stabförmige Zone hypomineralisierten Schmelzes bis zur Schmelzdentin-grenze erstreckt. Seiner Meinung nach haben nur ca. 1% aller Molaren und Prämolaren richtige, tiefe Fissuren wohingegen 98% flache "V-förmige Rinnen" aufweisen. Dieses Resultat ist konträr zu den Ergebnissen anderer Autoren. Awazawa führt das auf Artefakte bei der Untersuchung mit dem Lichtmikroskop zurück. Hier erscheint diese stabförmige Region unterhalb der "Rinne" als Fissur, die abgestorbene Ameloblasten, Zahnstein, Muzin oder muzinähnliche Substanzen oder andere organische Stoffe enthält. Sie soll bei der Anfertigung von Schliffpräparaten teilweise oder vollkommen zerstört werden, woraus dann eine artifizielle Fissur resultiert (Awazawa, 1969).

Dieser Aussage widerspricht Buonocore (1972) und zeigt in seiner Arbeit Fissuren, die fast bis an die Schmelz-dentingrenze reichen. Aufgrund der großen Häufigkeit von Fissuren und der damit verbundenen Fissurenkaries fordert er als Prophylaxe die Versiegelung durch Kunststoffe, da Versuche mit anderen Methoden im Fissurenbereich keine effiziente Kariesreduktion erbrachten.

Eine Untersuchung der Fissuren von noch nicht durchgebrochenen Zähnen führten Galil und Gwinnett (1975 b) durch. Zur möglichst unversehrten Erhaltung des organischen Materials in den Fissuren benutzten sie eine Dekalzifizierungstechnik, die von Godard, Taggar und Engel entwickelt wurde und mit reaktiven Halogenverbindungen, als Komplexbildner, arbeitet. Bei ihren Beobachtungen sahen sie Ameloblasten, die besonders am Boden der Fissur eingengt waren und sich in dem engen Spalt gestaut hatten. So vermuteten sie, daß das Schmelzorgan im Laufe der Höckerentwicklung, wenn es zur Fissurenbildung kommt, möglicherweise gequetscht wird und die Ameloblasten degenerieren. Bei diesem Vorgang könnte ein Druck auf die Ameloblasten mit der Matrixproduktion und Reifung des Schmelzes interferieren, was dann zu hypomineralisierten Bezirken führen würde.

Nach Grabb (1976) ist der äußere Schmelz von noch nicht durchgebrochenen Zähnen von einer Zone porösen Schmelzes, die ungefähr 180 - 300 μm dick ist, umgeben. Bei teilweise durchgebrochenen Zähnen soll sich ihre Dicke auf 100 - 180 μm verringern und bei vollständigem Durchbruch ist sie nur noch in der Fissurenregion erhalten.

Eine weitere Struktur des peripheren Schmelzes ist der sogenannte prismenfreie Schmelz, über den Gwinnett (1966) eine Ar-

beit veröffentlicht. Er geht hier von zwei Arten prismenfreien Schmelzes aus. Die erste ist unter bleibenden Zähnen verbreitet und erscheint ganz charakteristisch schuppenförmig, während die zweite Form, die auch bei bleibenden Zähnen gefunden wird, aber bedeutend häufiger bei Milchzähnen vorkommt, einem kontinuierlichen Band gleicht. Diese Schmelzbänder sind im Vergleich zum darunterliegenden Schmelz hypermineralisiert und die Kristallite stehen mit ihrer optischen oder C-Achse senkrecht zur Schmelzoberfläche. An bleibenden Zähnen beträgt die Dicke des schuppenförmigen prismenfreien Schmelzes an der breitesten Stelle 15-20 μm .

Über den prismenfreien Schmelz im Fissurenbereich schreibt A. G. Gustafson (1959), daß es bei der Fissurenbildung zur Kompression der Schmelzprismen ("Kompressionszone") des äußeren Schmelzes komme und dadurch eine "prismenfreie Zone" hervorgerufen wird.

Nach Schroeder (1976) ist der prismenfreie und glatte Schmelz im Bereich der geschützten Lage der eigentlichen Fissur "härter, dichter mineralisiert und weniger säurelöslich, als der unmittelbar darunterliegende prismatische Schmelz".

Dagegen beobachtet Ooya (1977) an noch nicht durchgebrochenen Zähnen am Fissurenboden Impressionen der Prismenenden und an der Fissurenwand poröse Schmelzoberflächen und erklärt damit die erhöhte Kariesanfälligkeit der Fissuren.

Wie man aus diesen Aussagen ersieht, sind die Ansichten der einzelnen Untersucher zur Struktur des Schmelzes im Fissurenbereich durchaus konträr, was zu teilweise gegensätzlichen Ergebnissen führt. Daraus läßt sich schließen, daß für die erhöhte Kariesfrequenz der Fissuren verschiedene Ursachen infrage kommen müssen.

2.3. Exogene Faktoren als Gründe für das häufige Auftreten der Fissurenkaries

Autoren, die diese Ansicht vertreten, sehen die Retentionsform der Fissuren als entscheidend für die hohe Kariesfrequenz an. Schon Bossert (1933) äußerte in bezug auf die "Relation zwischen der Form der okklusalen Oberflächen von Molaren und dem Überhandnehmen des kariösen Befalls", daß sich die meisten Läsionen in den tiefsten Fissuren mit den steilsten Höckerabhängen befänden. Anhand von 100 Hartgipsmodellen oberer, rechter, bleibender, erster Molaren zeigte er eine Korrelation zwischen der Steilheit der Höckerabhänge und dem Auftreten der Karies auf.

Kronfeld (1935) schreibt in seiner umfassenden Studie über die Entwicklung des ersten Molaren, daß Fissuren im Kauflächenrelief aller mehrhöckrigen Zähne auftreten, und daher als normale Strukturen betrachtet werden müssen. Sie seien zwar für den Kariesbefall prädisponierend, sind jedoch nicht pathologisch oder als fehlerhaft zu betrachten.

Auch Nagano (1961) untersuchte den Zusammenhang zwischen der Morphologie der Fissuren und initialer Karies. Er klassifizierte die Fissuren in folgender Weise: (Abb. 3, links)

1. V-Typ: oben weit und in Richtung auf den Boden sich schrittweise verengend
2. U-Typ: vom Eingang bis zum Boden fast die gleiche Weite
3. I-Typ: sehr enger Schlitz
4. IK-Typ: sehr enger Schlitz, der am Boden mit einem großen Raum in Verbindung steht
5. andere Formen, z.B. umgekehrtes Y

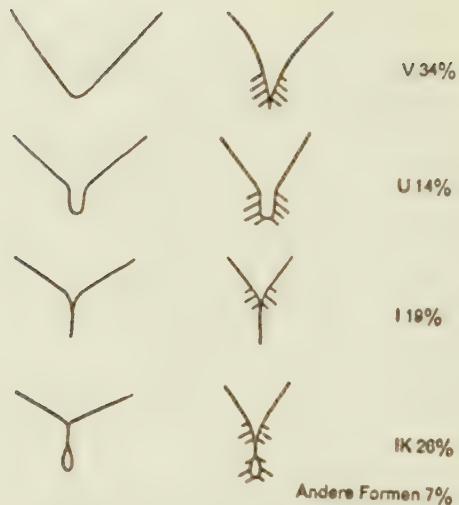


Abb. 3: Fissurentypen und ihr prozentuales Vorkommen nach Nagano (1960), links in der günstigsten, einer Reinigung zugänglichen Form, rechts ungünstig und kariesgefährdet (Umzeichnung nach König 1971)

Nach Nagano (1961) sollen die Form und die Tiefe der Fissur eng miteinander verknüpft sein. Zum Beispiel soll der V-Typ ziemlich flach, der U-Typ von mittlerer Tiefe und die meisten anderen Formen sehr tief sein und manchmal bis auf einige μm an die Schmelzdentingrenze heranreichen. Seinen Untersuchungen nach ist der Ort der ersten kariösen Läsion abhängig von der Form und Tiefe der Fissur. (Abb. 3, rechts).

So soll die Karies im V-Typ auf dem Boden der Fissur, im U-Typ auf halbem Wege nach unten und im I- und IK-Typ am Fissureneingang beginnen.

Die Einteilung der Fissuren nach gewissen morphologischen Kri-

terien lehnt König (1963) ab, indem er zeigt, daß der Fissurentyp variiert, je nachdem welcher Teil auf der ganzen Länge der Fissur gerade für den histologischen Schnitt herangezogen wird. Die Fissur hat praktisch von Ort zu Ort unterschiedliche Gestalt. Daher beginnt die kariöse Entkalkung einer okklusalen Fissur nicht gleichzeitig auf ihrer ganzen Länge. In einer Studie über die Anfälligkeit bestimmter Regionen innerhalb einer Fissur gegenüber Karies stellte König fest, daß tiefe, schmale Fissuren lange der kariösen Destruktion Widerstand leisten. Hat die Läsion aber begonnen, so schreitet sie schneller fort, falls sie in tiefen, engen Teilen beginnt und langsamer in den flachen Partien der Fissur. Die Steilheit der Höckerabhänge und reichlich Raum für die Retention über dem Fissureneingang scheinen wichtigere Merkmale zu sein als die Tiefe der Fissur. Sie sind daher für ihn die bedeutendsten prädisponierenden Faktoren. Eine weitere Arbeit kommt von Zuhrt und Vierus (1967). Sie untersuchten Fissurenformen im Hinblick auf ihre Morphologie und bildeten aus den Variablen Querschnitt und Tiefe der Fissur folgende fünf Kombinationen:

- | | | |
|---------|---|---|
| O(Null) | = | keine Fissur |
| A | = | auf den peripheren Schmelz beschränkte schmale Fissur |
| B | = | auf den peripheren Schmelz beschränkte breite Fissur |
| C | = | bis in den dentinnahen Schmelz reichende schmale Fissur |
| D | = | bis in den dentinnahen Schmelz reichende breite Fissur |

Anhand von 134 Dünnschliffen menschlicher 1. und 2. Prämolaren ergab sich folgende Verteilung:

O	=	72	
A	=	4	} 62
B	=	18	
C	=	30	
D	=	10	

Dabei überrascht der Befund von 72 Schliffen ohne Fissur, da andere Autoren (Gillings und Buonocore, 1961) zu stark abweichenden Ergebnissen kommen.

Um der Frage nach dem Einfluß der Fissurentiefe auf die Kariesanfälligkeit nachzugehen, wurden zwei Altersgruppen gebildet, nämlich 8-15jährige und 18-64jährige. Dabei zeigte sich, daß die Anzahl der fissurenlosen Zähne erwartungsgemäß bei der Gruppe der Erwachsenen höher war, d.h. ihre Kariesanfälligkeit also geringer ist. Überraschenderweise nahm aber die Anzahl der Typen B und D, also der breiten Fissuren, signifikant mit dem Alter ab, obwohl doch gerade die schmalen Fissuren als kariesanfällig gelten. Die Autoren führen das zurück auf das längere Verbleiben des Schmelzoberhäutchens und anderer organischer Materialien in der engen Fissur, die eine kariesprotektive Auskleidung bilden sollen und bei den breiten Fissuren eher abgerieben werden, wodurch die Ansiedlung von Karies erzeugenden Plaques möglich wird.

Nach Jurkschat und Zuhrt (1977) soll dieser Fissureninhalt erklären, warum bei breiten Fissuren das Kariesinitial am Fissurengrund lokalisiert ist (intravitaler Verlust des ursprünglichen Inhalts) und bei schmalen oder ampullenförmigen Fissuren am Fissureneingangstrichter (Pilz, 1967). Damit könnte aber auch die unterschiedliche Kariesdisposition breiter und schmaler Fissuren erklärt werden.

Mortimer (1964) untersuchte sowohl tiefe als auch flache Fissuren und stellte in beiden Fällen ein Kariesinitial am Fissureneingang fest. Diese Ergebnisse stimmen mit G. Gustafson (1957) überein, widersprechen aber Zuhrt (1967) und Pilz (1967).

In der Arbeit von Zuhrt (1967) über die morphologischen Ursachen für den bei den einzelnen Zahntypen unterschiedlich hohen Kariesbefall der okklusalen Prädilektionsstellen stellte er fest, daß ab dem ersten Molaren, sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer die Fissurenkaries gegenüber der Approximalkaries zunehmend überwiegt. Das Vorliegen einer Fissur ist aber nicht schlechthin eine kariesfördernde Eigenschaft, sondern vor allem der Querschnitt der Fissur. Ein Beispiel dafür ist die "caniniforme" Gestaltung des unteren ersten Prämolaren. Kreuzungen des Fissurensystems müssen dagegen als besonders anfällige Partien dieser Prädilektionsstelle angesehen werden. Dabei unterscheidet er zwischen Hauptkreuzungen, wie z.B. die H- und Kreuz-Fissur und Nebenkreuzungen, die durch Verzweigungen der Fissur am Ende oder während ihres Verlaufs gebildet werden. Die Anzahl von Kreuzungen ist bei oberen Molaren durch unvollständige Ausbildung der H-Fissur oder durch Vorliegen eines dreihöckerigen Molarentyps höher als bei oberen Molaren. Oft ist bei allen Arten von Kreuzungen das Niveau des Grundes der sich kreuzenden Fissuren unterschiedlich und durch Verbreiterung des Querschnitts sind besonders die Hauptkreuzungen sehr kariesanfällig.

Die Kariesneigung wird noch erhöht durch trichterförmige Schmelzinvaginationen (Grübchen), die im Oberkiefer bevorzugt in den Fissurenkreuzungen liegen, während sie im Unterkiefer meist außerhalb des Fissurensystems, als zusätzliche Prädilektions-

stellen auftreten. Die hier angeführten Kauflächendetails sind nach Ansicht Zuhrt's in der Lage die Differenzen im okklusalen Kariesbefall der Molaren erklären zu helfen.

Fejerskov (1973) machte morphometrische Analysen der okklusalen Fissuren menschlicher Prämolaren, d.h. er untersuchte die Schmelzdicke an verschiedenen Stellen sowie die Fissurentiefe und den Öffnungswinkel des Fissureneingangstrichters. Das Ergebnis zeigt, daß eine geringe oder keine Korrelation zwischen den verschiedenen Parametern besteht. Die Ausnahmen sind nur okklusaler Öffnungswinkel und Fissurentiefe. So ist ein enger Fissureneingang fast immer bekleidet von einer tiefen Fissur. Es besteht aber kein Zusammenhang zwischen Fissurentiefe und Schmelzdicke am Boden der Fissur. Fejerskov sieht daher die Fissuren eher als das Ergebnis von Falten des ganzen Schmelzorgans an als von Entwicklungsfehlern ausschließlich im Schmelz selbst.

Eine neue Art von Untersuchung wurde von Galil und Gwinnett (1975 a) angewandt. Sie stellten dreidimensionale Kopien der Grübchen und Fissuren her, indem sie Vinylharz in einer Vakuumkammer in das Fissurenrelief einfließen ließen. Nach dem Auspolymerisieren wurde die Zahnschubstanz durch hypochlorige Säure aufgelöst; die nun freiliegenden Vinylharzkopien wurden mit Goldpaladium bedampft und entweder mit dem Licht- oder dem Rasterelektronenmikroskop untersucht. Diese Methode ermöglichte das räumliche Betrachten des vollständigen Fissurenkomplexes und die Unterscheidung zwischen Fissuren und den darin liegenden Grübchen.

Anhand der Kopien läßt sich erschen, daß ein Einebnen von Fissuren und Grübchen, wie es Bödecker (1929) vorgeschlagen hat, aufgrund des unterschiedlichen Niveaus dieser Stellen und der

Tiefe, mit der sie in den Schmelz eindringen, nicht zum gewünschten kariesprophylaktischen Erfolg führen kann. Tiefe Schmelzinvasionen sind viel häufiger als es die äußere Gestalt der Fissur erwarten läßt. Im Fissurenrelief eines Zahnes kommen gleichzeitig extrem flache als auch tiefe ampullenförmige Fissuren vor.

Wie man sieht ist die Morphologie der Fissuren komplexer als es Serienschritte erahnen lassen und deshalb ist Vorsicht bei der Interpretation von Fissurenformen geboten. Somit läßt sich auch über die Anfälligkeit eines Zahnes gegenüber Karies wenig aussagen.

Wie neueste Untersuchungen von Ornelas und Featherstone (1983) über das Fortschreiten von kariösen Läsionen bei in vitro Karies zeigen, gibt es dabei keine signifikanten Unterschiede zwischen Milchzähnen und bleibenden Zähnen.

2.4. Schmelzstruktur und Fissurenversiegelung

Wie bekannt ist hat die Fissurenkaries besonders bei Kindern und Jugendlichen einen sehr hohen Anteil an der Gesamtkaries. In seiner Dissertation stellt Sieling (1982) fest, daß bei Berliner Schulkindern im Alter von 12 bis 13 Jahren der Anteil der Fissurenkaries an der Karies der 6-Jahrmolaren 79% beträgt. Es wurde daher nach einer Methode gesucht, die das Fissurensystem so früh wie möglich nach dem Zahndurchbruch von bakteriellen Säuren und vergärbarem Substrat schützen kann. Auf diese Weise kam man zur Fissurenversiegelung, d.h. zum Verschuß der Fissuren mittels geeigneter Kunststoffe, wie Methakrylate oder Bis-GMA-Kunststoffe.

Da diese nicht mit der Schmelzoberfläche verkleben, sondern nur mechanisch haften, wurde von Buonocore (1955) die Technik der Schmelzätzung durch Säure entwickelt, um dadurch die Retention in der Fissur zu erhöhen.

Die Säurelöslichkeit der Apatitkristallite ist im Prismenzentrum und in der Peripherie unterschiedlich, daher werden gewisse Bereiche bevorzugt aufgelöst. Man erhält somit eine retentive Schmelzoberfläche und eine Oberflächenvergrößerung verbunden mit einer besseren Benetzbarkeit durch den Kunststoff.

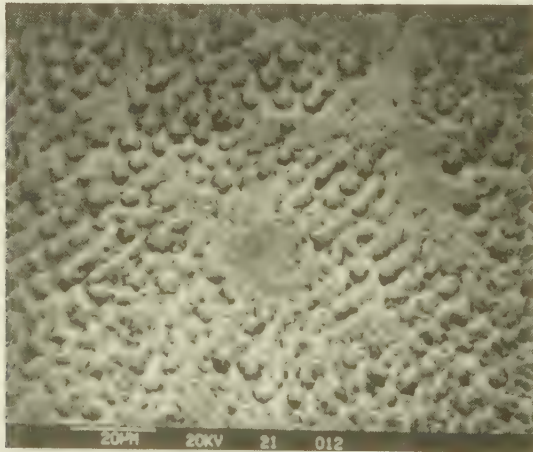


Abb. 4: Angeätzte Schmelzoberfläche

Ripa und Cole (1970) sowie Buonocore (1971) machten klinische Untersuchungen der Versieglerretention an Milch- und bleibenden Zähnen. Sie beobachteten nach ein bzw. zwei Jahren teilweises Fehlen des Versieglers häufiger bei Milchzähnen und führten das auf eine andersartige Schmelzstruktur mit prismenfreien Bezirken zurück.

Die schlechtere Retention der Fissurenversiegler bei Milchzähnen könnte aber auch eine Folge von Schwierigkeiten bei der Reinigung, Ätzung und Trockenlegung dieser Zähne aufgrund von ungünstigen Bedingungen bei der Behandlung der jüngeren Kinder im Alter zwischen vier und sechs Jahren sein.

Das wird auch von Rock et al. (1978) vermutet.

Eine andere Erklärung wäre die unterschiedliche Makromorphologie und stärkere Abrasion der Milchzähne. Weiter müßte untersucht werden, ob ein geringerer Mineralgehalt vorhanden ist, dem möglicherweise Bedeutung für die reduzierte Versieglerretention zukommt.

Hørsted, Fejerskov et al. (1976) untersuchten mit Hilfe des Polarisationsmikroskops die Orientierung der Kristallite von Schmelzoberflächen. Sie konnten keinen Unterschied zwischen Milch- und bleibenden Zähnen in bezug auf die Orientierung der Kristallite an der Schmelzoberfläche registrieren. Sie verlaufen an der Oberfläche praktisch senkrecht zur Schmelzperipherie und annähernd parallel zur langen Achse der Prismen im darunter liegenden Schmelz. Es wird aber ein signifikanter Unterschied zwischen der Kristallitrichtung an der Oberfläche und unterhalb der Oberfläche beobachtet.

In Bezug auf den prismenfreien Schmelz unterstützen die Ergebnisse Mortimer (1970), der nur in wenigen Schnitten prismen-

freie Zonen fand, widersprechen aber teilweise den Angaben von Gwinnett (1966).

Andere Untersuchungen über die Form der Ätzmuster haben gezeigt, daß diese abhängig sind von der Kristallitorientierung innerhalb des einzelnen Prismas. In dieser Studie wurde aber die Orientierung in Relation zur Schmelzoberfläche beschrieben, so könnten also die Unterschiede in der Versieglerretention zwischen bleibenden und Milchzähnen von solchen unterschiedlichen Orientierungen der Kristallite innerhalb des Prismas abhängig sein.

Anhand der eigenen rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen (REM) sollte nun festgestellt werden, wie der Zahnschmelz im Fissurenbereich beschaffen ist, welche strukturellen Ursachen die hohe Kariesanfälligkeit der Fissuren hat und ob eine effiziente Kariesprophylaxe durch Versiegelung möglich ist.

3. MATERIAL UND METHODE

3.1. Material

Untersuchungsobjekte waren die Fissuren von 17, sowohl impaktierter als auch durchgebrochener, kariesfreier bzw. mit initialer Karies versehener menschlicher Molaren aus Ober- und Unterkiefer.

Die Kariesfreiheit der durchgebrochenen Zähne wurde mit Hilfe klinischer, makroskopischer und auflichtmikroskopischer Untersuchungen diagnostiziert.

3.2. Methode

3.2.1. Präparatherstellung

Nach der Extraktion kamen die Zähne sofort in 5 %ige phosphatgepufferte (pH 7,2) Glutaraldehydlösung. Darauf folgte die Abtrennung der Wurzel mit einer Diamantscheibe, mit der anschließend im unteren Teil der Krone Schlitz in mesial-distaler sowie buccal-oral Richtung parallel zu den Fissuren, angebracht wurden. Diese Schlitz gestatteten es die Krone durch das Hineindrücken eines Schmelzmessers zu spalten. Dadurch war es möglich Längs- bzw. Querbrüche von Fissuren herzustellen, um in die tiefsten Stellen noch besser einsehen zu können. Ein weiterer Vorteil dieser Brüche ist, daß hier nicht wie bei der Schliffherstellung die Mikrostrukturen durch Schleifspuren und Schleifstaub maskiert werden und somit eine genauere Analyse der Schmelzstrukturen möglich ist.

Zur Entfernung des Schmelzoberhäutchens (SOH) und anderer organischer Auflagerungen von der Schmelzoberfläche kamen zwei Methoden zur Anwendung. Zum einen das Kochen der

Zähne in einer Lösung aus 1 g Kaliumhydroxid und 40 cm³ Glyzerin für 30 min und anschließend in Aqua dest. für eine Stunde. Zum anderen das Einbringen für 24 Stunden in eine 12 %ige Natriumhypochloridlösung und Reinigung im Ultraschallbad.

Nach sorgfältigem Spülen mit Aqua dest. und Trocknung mit Pressluft erfolgte das Aufkleben auf einen Trägerteller mit Leitkohle. Eine elektrisch leitende Oberfläche wurde durch vierminütiges Besputtern mit Goldionen im Technics Hummer Evaporator bei einem Druck von 150 Torr, einem Probenabstand von ca. 30 mm und einer Beschleunigungsspannung von 1000 Volt erzeugt. Nach diesem Vorgang beträgt die Goldschichtdicke ca. 30 nm.

3.2.2. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen des Zahnschmelzes

Die Beobachtungen erfolgten am Rasterelektronenmikroskop (REM) Stereoscan 150 S der Firma Cambridge Instruments bei einer Beschleunigungsspannung von 20 KV.

Den Untersuchungen am unbehandelten Zahnschmelz folgte eine Behandlung der Zahnkronen bzw. deren Brüche für 60 sec mit Nuva-Seal Tooth Conditioner (50 %ige Phosphorsäure + 7 % Zinkoxyd). Nach dem Anätzen wurde 60 sec lang mit Wasserspray gespült und 30 sec lang mit Pressluft getrocknet.

Durch den Vergleich der unbehandelten mit den geätzten Fissuren sollten über die sich zeigenden Ätzmuster Rückschlüsse auf die Schmelzstruktur gezogen werden.

Verfälschungen der Ergebnisse, hervorgerufen durch die mög-

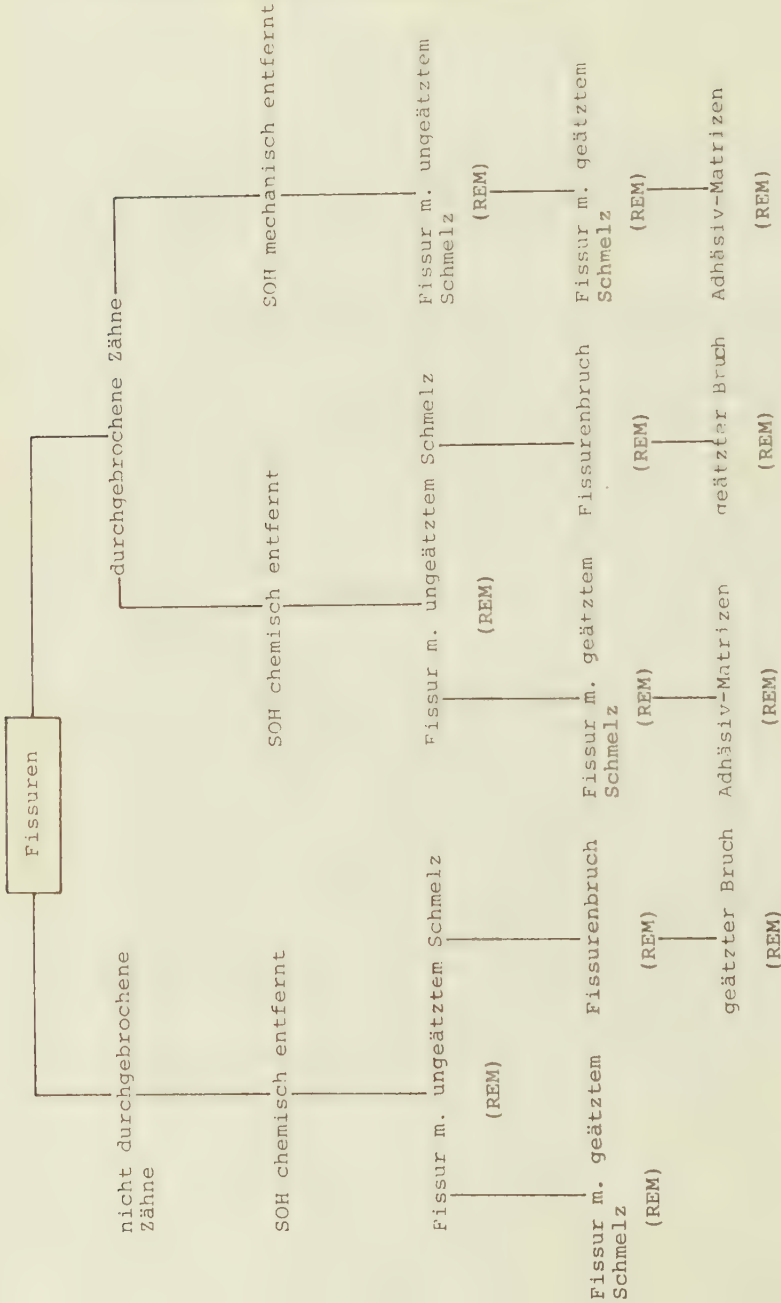
licherweise unzureichende Eindringtiefe der Phosphorsäure (Viskosität, Lufteinschlüsse) konnte durch die Ätzung auch an Brüchen von Fissuren verhindert werden.

3.2.3. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Adhäsiv-Matrizen

Zusätzlich wurden Versuche durchgeführt, bei denen die Zähne entsprechend der Fissurenversiegelung am Patienten behandelt wurden, d.h. an frisch extrahierten Zähnen wurde das organische Material nur mit einem Nylonbürstchen und Bimsstein entfernt und dann der Schmelz angeätzt. Zum Vergleich wurde bei einem Zahn das organische Material mit NaOCl entfernt und anschließend in der gleichen Weise wie oben verfahren.

Nach Untersuchung des geätzten Schmelzes erfolgte die Versiegelung der Fissuren mit Johnson and Johnson Dental Restorative Bonding Agent, dann wurde die Okklusalfäche mit Palavit-Kunststoff überschichtet, um eine ebene Fläche zu erhalten und daraufhin wurden die Zahnkronen mit konzentrierter HCl und 12 %igem NaOCl aufgelöst. Nach Ultraschallreinigung in Aquadest. wurden die so gewonnenen Adhäsiv-Matrizen des Fissurenreliefs im REM untersucht und an verschiedenen Stellen der Fissur detaillierte Beobachtungen der Ätzmuster gemacht. Auf diese Weise konnten die Fissurenwände dargestellt werden und aus der Ätztiefe die Eindringtiefe der Säure ermittelt werden.

3.2.4. System der Untersuchungen am REM



SOH = Schmelzoberhäutchen + organisches Material

REM = Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung

4. E R G E B N I S S E U N D A B B I L D U N G E N

4.1. REM-Untersuchungen des Zahnschmelzes im Fissuren- bereich

4.1.1. Beobachtungen an kariesfreien, ungeätzten Fissuren

Als kariesfrei wurden die Zähne angesehen, die entweder impaktiert oder deren Fissuren unverfärbt und nicht erweicht waren.

Das REM zeigt, nachdem das SOH zusammen mit auf dem Schmelz anhaftendem organischen Material entfernt wurde, eine okklusale Oberfläche, die sehr komplex strukturiert ist. Man findet in enger Nachbarschaft sowohl flache Fissuren, die manchmal von tiefen und engen (ca. 40 μm $\emptyset$) Grübchen unterbrochen werden, als auch tiefe Fissuren, die in ihrem Verlauf Bereiche mit flachen Rinnen aufweisen. Auf dem Boden der Fissurenkreuzungen, d.h. an Stellen, wo eine Längs- und eine Querrissur aufeinandertreffen, beobachtet man häufig das Vorkommen von Grübchen, die bei flachen Fissuren wie Trichter in die Tiefe führen und manchmal bis nahe an die Schmelzdentingrenze reichen können. (Abb. 5 und 6)

Selbst bei tiefen Fissuren kann man in den Kreuzungen ein Abfallen des Fissurenbodens in Form von Grübchen erkennen. Generell läßt sich sagen, daß das Niveau des Fissurenbodens im Kreuzungsbereich absinkt und hier seine tiefste Stelle erreicht. Ansonsten findet sich keine Systematik, nach der man die Fissurenformen einteilen könnte, da auf jeder Okklusalfäche sowohl tiefe als auch flache Fissuren vorkommen und beide Formen von Grübchen oder Erhebungen in ihrem Verlauf unregelmäßig unterbrochen werden.

Bei stärkerer Vergrößerung (ab 140 x) werden die ersten Fein-

strukturen im Schmelzaufbau sichtbar. Man sieht nun die Impressionen der Prismenenden, die als kreisförmige Dellen erscheinen. Sie treten sowohl an den Fissurenwänden als auch am Boden auf, doch werden sie öfter durch Bezirke unterbrochen, in denen sie nicht so stark bzw. überhaupt nicht ausgeprägt sind. Ihre Tiefe ist jedoch am Fissurenboden nicht größer als an anderen Stellen der okklusalen Oberfläche.

(Abb.7)

Am gleichen Zahn erkennt man eine Fissurenwand mit einer stark porösen Schmelzschicht, wobei die gegenüberliegende Wand normal strukturiert ist (Abb. 8)

Diese porösen Schmelzbezirke sind lokale, während der Schmelzbildung entstandene Störungen der Ameloblastenfunktion.

Sie treten hier am Höckerabhang auf, doch auf einem anderen Zahn werden sie am Fissurenboden vorgefunden. (Abb. 9 und 10)

Neben diesen Bildungsstörungen im oberflächlichen Schmelz beobachtet man Bereiche, sowohl auf dem Fissurenboden als auch an der Wand, die sich durch stark vertiefte Impressionen der Prismen auszeichnen. (Abb. 11 und 12)

Sie dürften auch auf Degenerationserscheinungen der Ameloblasten zurückzuführen sein.

Eine weitere morphologische Erscheinung sind Schmelzoberflächen an der Wand und am Boden der Fissur, die glatt, d.h. ohne besondere Strukturen sind und keine Impressionen aufweisen. Sie werden oft in Form von Bezirken unterschiedlicher Ausdehnung, aber ohne gehäuftes Vorkommen in einer bestimmten Region des Fissurenreliefs, beobachtet. (Abb. 13)

Andere Autoren bezeichnen solche Bereiche als prismenfreien Schmelz, da ihnen Prismenstrukturen der Oberfläche fehlen.

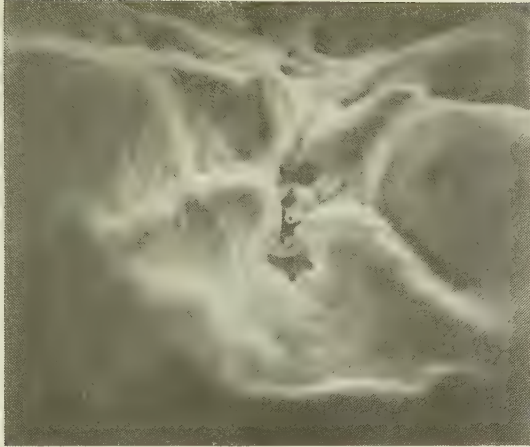


Abb. 5: Fissurenrelief eines Weisheitszahnes

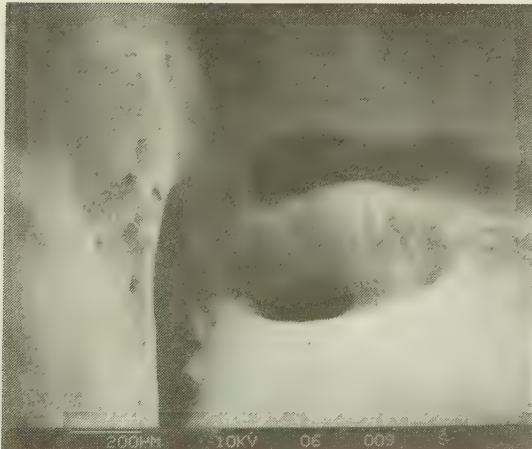


Abb. 6: Fissurenkreuzung mit tiefen Grübchen

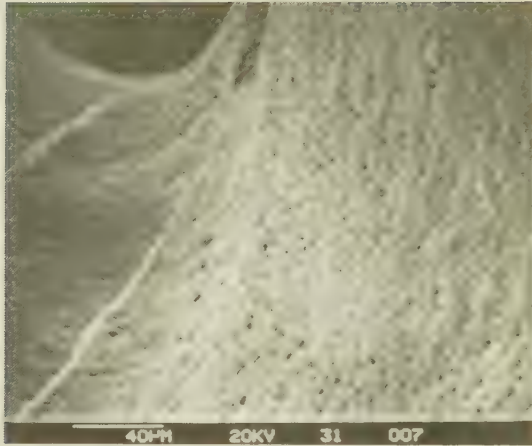


Abb. 7: Flache Fissur mit Prismenimpressionen
an der Wand

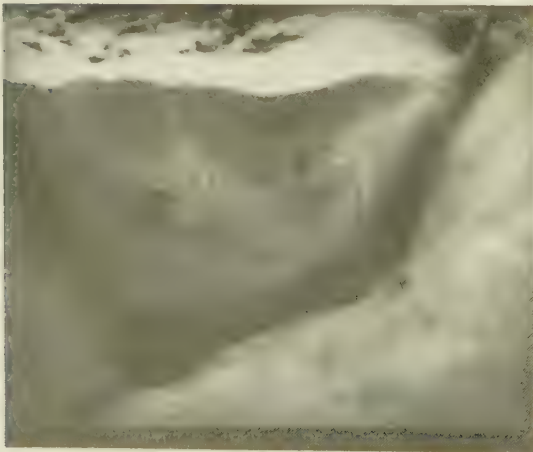


Abb. 8: Fissurenwand mit stark poröser Schmelz-
oberfläche

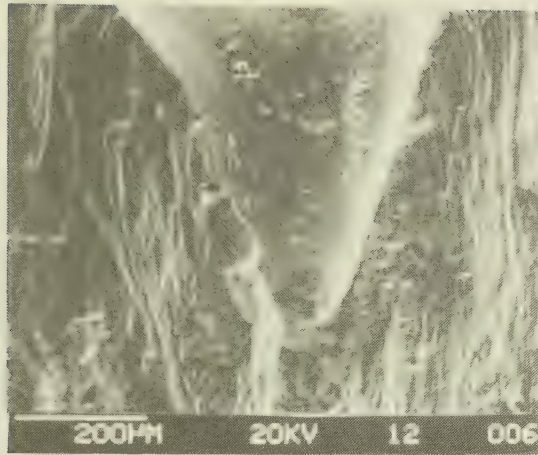


Abb. 9: Fissurenquerbruch. Fissur mit porösem Schmelz am Fissurenboden

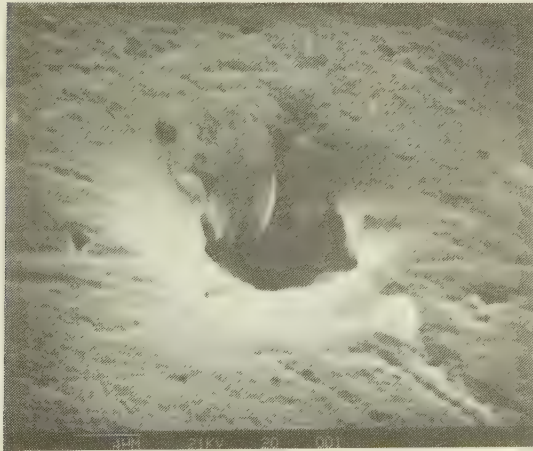


Abb.10: Defekt in der Schmelzoberfläche ($\varnothing$ ca. $10\ \mu\text{m}$)

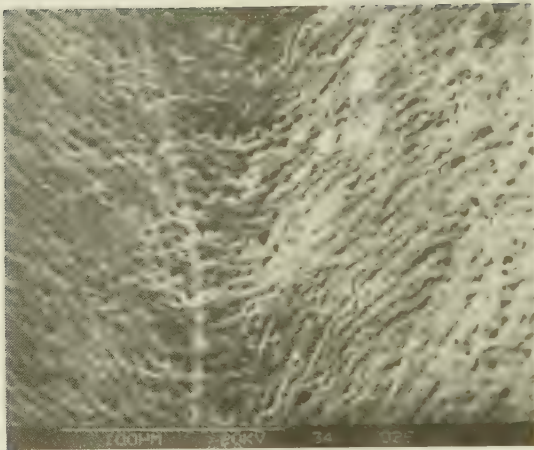


Abb. 11: Flache Fissur mit vertieften Prismen-
impressionen

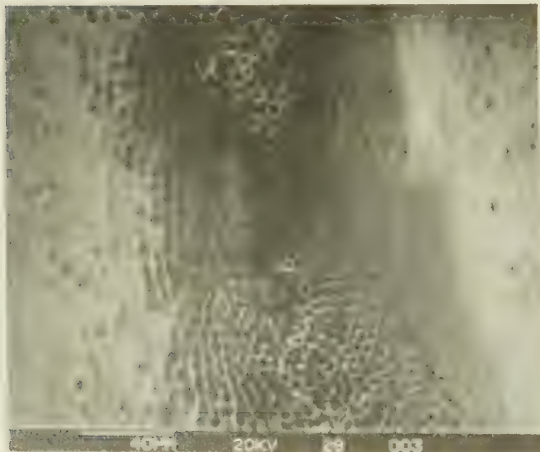


Abb. 12: Tiefe Fissur mit vertieften Prismen-
impressionen

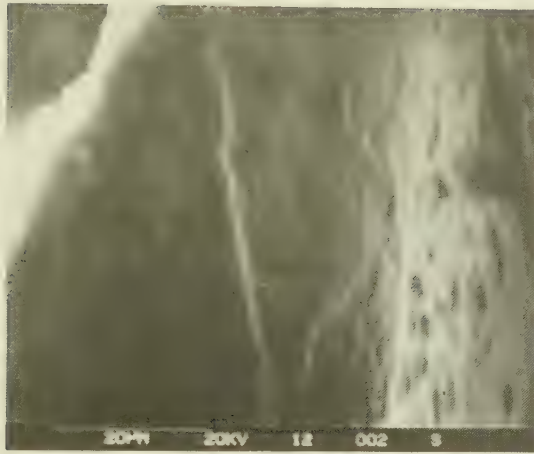


Abb. 13: Fissurenlängsbruch. Fissurenboden ohne
Impressionen der Prismenenden. Fissuren-
wand rechts zeigt Impressionen

4.1.2. Beobachtungen an kariesfreien, geätzten Fissuren

Wird Zahnschmelz nach Entfernen des daraufliegenden organischen Materials mit Phosphorsäure angeätzt, so ergeben sich Ätzmuster auf der Oberfläche. Die Löslichkeit der Kristallite ist abhängig vom Winkel, mit dem diese zur angegriffenen Oberfläche stehen, da die Kristallitseiten parallel zur C-Achse bevorzugt aufgelöst werden. Zusätzlich besteht noch eine Abhängigkeit der Löslichkeit von dem organischen Material, das die Kristallite umhüllt. Somit kann man durch die Analyse der Ätzmuster Rückschlüsse auf die Struktur der oberflächlichen Schmelzschicht ziehen.

Es gibt drei Formen des Säureangriffs auf den Zahnschmelz. Die eine Form ist das bevorzugte Herauslösen der Prismenentrennen, was zu einer Vertiefung der Impression in Form von Trichtern führt. (Abb. 14 und 15)

Die andere Möglichkeit ist ein überwiegender Säureangriff auf die Peripherie der Prismen, der bogen- oder arkadenförmige Oberflächendefekte hervorruft. (Abb. 4, S. 24)

In Abbildung (Nr. 4) läßt sich noch ein drittes Ätzmuster erkennen. Man sieht hier Bezirke von 20-30 μm $\emptyset$, auf denen der Säureangriff gleichmäßig erfolgte und die nur Porositäten auf der Oberfläche aufweisen. Wahrscheinlich sind in diesen Bezirken die Kristallite parallel angeordnet.

Alle drei Ätzmuster kommen nebeneinander, manchmal auf sehr eng begrenzten Schmelzarealen des gleichen Zahnes vor.

Nach der Ätzung von glatten Bereichen des Fissurenbodens werden die darunterliegenden prismatischen Strukturen freigelegt. (Abb. 16)

Daraus kann man schließen, daß an diesen Stellen die Schmelzoberfläche mit einer Schicht, ähnlich einer Glasur aus parallel ausgerichteten Kristalliten bedeckt ist.

Werden diese Bereiche kürzere Zeit geätzt (30 sec) so kommt es in dieser glatten, etwa 5 - 10 μm dicken Schicht zur Porenbildung an der Oberfläche ohne zum Vorscheinkommen der Prismenstruktur.

An einem geätzten Bruch läßt sich erkennen, daß die Kristallite in dieser Schicht senkrecht zur Schmelzoberfläche ausgerichtet sind, wohingegen die Prismen in einem Winkel von ca. 40° zur Oberfläche verlaufen (Abb. 17)

In anderen Fissuren jedoch ändern die Prismen ihre schräge Verlaufsrichtung in der obersten Schmelzschicht und treffen fast senkrecht auf die Schmelzperipherie.

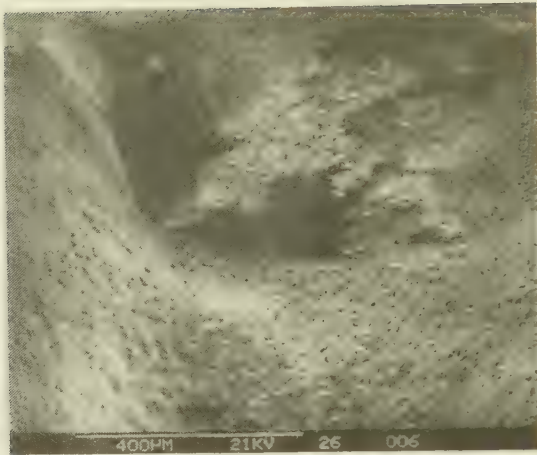


Abb. 14: Flache Fissur mit geätztem Schmelz
(Übersicht)



Abb. 15: Gleiche Fissur wie Abbildung 14. Durch
die Phosphorsäure wurden bevorzugt die
Prismenzentren aufgelöst

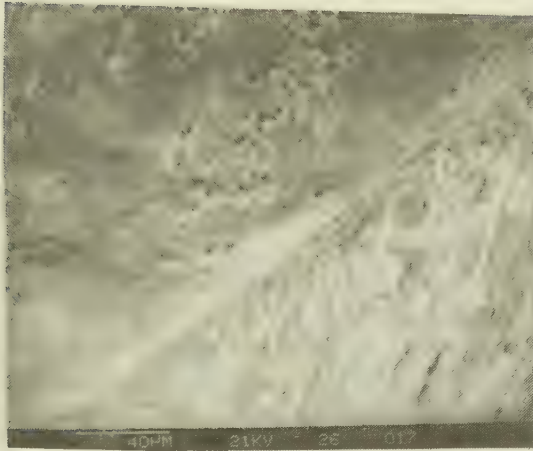


Abb. 16: Fissurenbruch. Der vorher glatte Fissurenboden zeigt nach Ätzung mit Phosphorsäure kein typisches Ätzmuster. Die Prismen verlaufen schräg zur Schmelzoberfläche, jedoch die Kristallite an der Oberfläche stehen senkrecht auf ihr.



Abb. 17: Gleicher Zahn wie in Abbildung 16. Fissurenbruch zeigt schräge Verlaufsrichtung der Prismen.

4.1.3. Beobachtungen an Fissuren mit Kariesinitial

Den kariesfreien Zähnen wurden nun Zähne mit beginnender Fissurenkaries gegenübergestellt, d.h. es wurden Zähne untersucht, deren Fissuren an manchen Stellen Entmineralisationen im Sinne eines white spots aufwiesen, aber noch nicht "erweicht" waren. Aufgrund der Strukturenveränderungen an der Schmelzoberfläche und ihrer Lage in der Fissur sollten möglicherweise Rückschlüsse auf die Schmelzstruktur gezogen werden.

Das Kariesinitial tritt im Schmelz als white spot in Erscheinung. Man versteht darunter einen weißlich, opaken Schmelzbereich, der auf der Oberfläche keinen Defekt zeigt und beim Test mit einer spitzen Sonde sich als hart erweist. Der white spot wird auch als subsurface-Läsion bezeichnet, da die Entmineralisation nicht auf, sondern unter der Oberfläche beginnt. Diese Art von Läsion entsteht nicht nur in vivo durch die Plaque, sondern läßt sich auch in vitro durch saure Gattinellösung erzeugen.

Bei genauerer Untersuchung mit dem REM entdeckt man in dieser scheinbar intakten Schmelzoberfläche schon verschiedene Arten der Destruktion. Diese Läsionen befinden sich in den Fissuren mit flachem Eingangstrichter am Boden, dagegen in denen mit steilem Fissureneingang liegen sie oben am Eingang. Das sind jeweils die Orte in der Fissur mit der größten Plaqueansammlung. (Abb. 18 und 19)

Bei der Entmineralisation des Schmelzes unterhalb der Oberfläche wird anscheinend der oberflächliche Schmelz durch die Bildung von Diffusionskanälen aufgelockert. Die engen Spalten zwischen den Prismen und den Kristalliten werden erweitert, so daß Teile von ihnen herausbrechen können. (Abb. 20, 21, 22 u. 23)

Man sieht hier wie aus der glatten Schmelzoberfläche Teile der prismenfreien Schicht herausgebrochen sind und der darunterliegende prismatische Schmelz freiliegt. Diese oberflächlichen Defekte, bei denen eine Schicht von ca. 5 - 10 μm beschädigt ist, sind keine Entwicklungsstörungen, wie sie bei noch nicht durchgebrochenen Zähnen auftreten, sondern sie sind auf einen exogenen Einfluß zurückzuführen.

Lokale Störungen der Amelogenese, wie poröse Schmelzoberflächen oder Schmelz mit vertieften Prismenimpressionen könnten jedoch als Diffusionskanäle bei der Demineralisation des darunterliegenden Schmelzes dienen und somit diese Stellen zur Karies prädisponieren. (Abb. 24 und 25)

Werden die subsurface-Läsionen größer, so beobachtet man stärkere Defekte, bei denen an der Oberfläche eine Schicht prismatischen Schmelzes herausgebrochen und an ihren Rändern die Prismenlängsstruktur zu erkennen ist. Die eigentliche Schmelzoberfläche scheint immer noch intakt zu sein.

Neben der glatten und strukturlosen Schicht befinden sich aber Bereiche mit Prismen, deren Zentren ausgehöhlt erscheinen. Sie ähneln den Prismenstrukturen, die man nach Ätzung der Schmelzoberfläche mit Säure erhält. (Abb. 21)

Gelegentlich sieht man bei Zähnen, die schon über Jahre dem Mundmilieu ausgesetzt waren und die dem kariösen Angriff lange Zeit widerstanden haben, daß in den Fissuren Auflagerungen, trotz Behandlung mit Natriumhypochlorid, zurückbleiben. Bei stärkerer Vergrößerung erweisen sich diese Auflagerungen als mineralisierte Plaque. (Abb. 26 und 27)

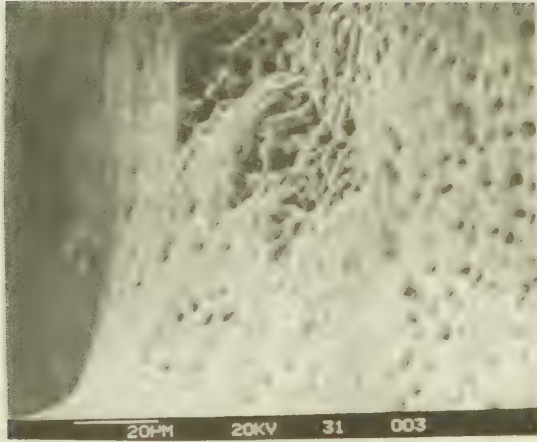


Abb. 18: Wand einer tiefen Fissur mit Destruktionen der Schmelzoberfläche durch Karies

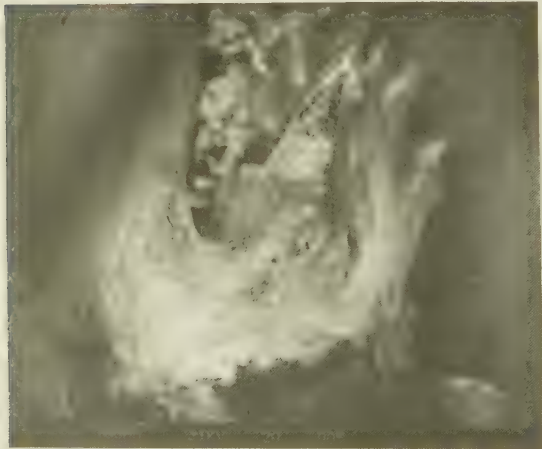


Abb. 19: Destruktionen durch Karies am Boden einer Fissur

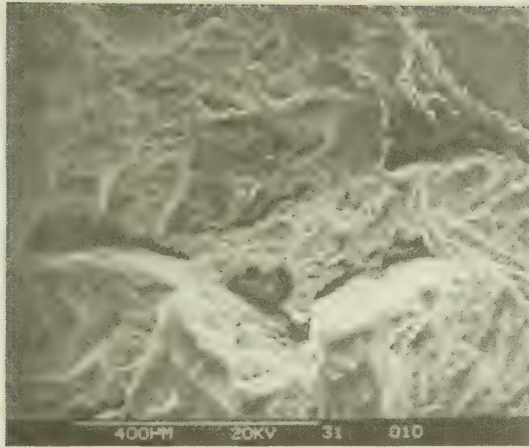


Abb. 20: Kariesinitial am Fissureneingang. Im Lichtmikroskop bei 40-facher Vergrößerung erscheint es als weißlich-opaker Schmelzbezirk.



Abb. 21: Gleiche Stelle wie in Abbildung 20. Die an der Oberfläche herausgebrochenen Schmelzprismen sind deutlich zu erkennen. Der Bezirk sieht aus wie angeätzter Schmelz.

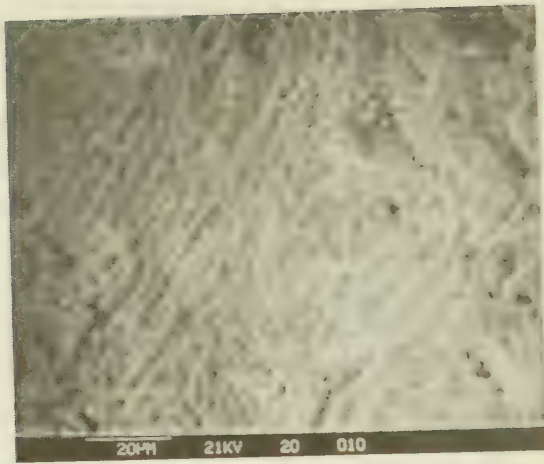


Abb. 22: Destruktion in der Schmelzoberfläche, bei der die Prismenlängsstruktur zutage tritt

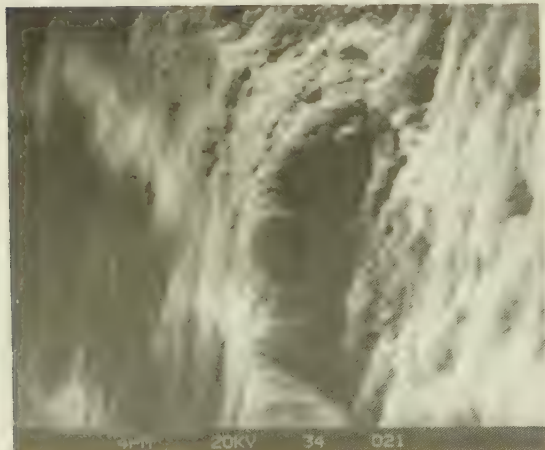


Abb. 23: Defekt in der prismenfreien Schicht der Schmelzoberfläche, der den prismatischen Schmelz freilegt

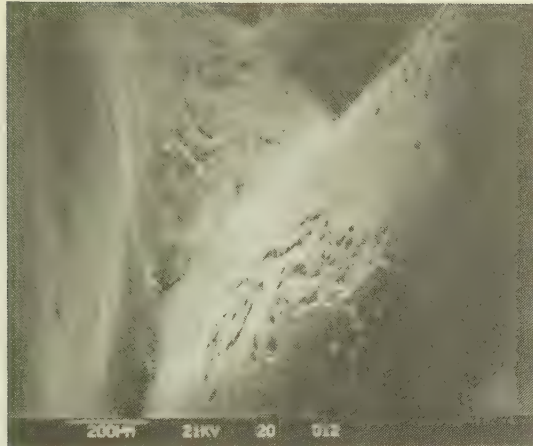


Abb. 24: Schmelzdefekte an der Fissurenwand

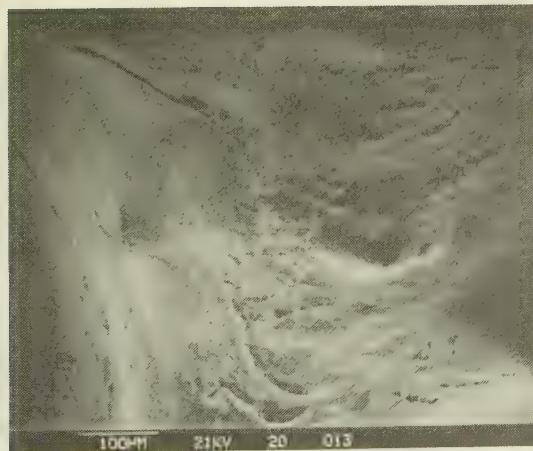


Abb. 25: Schmelzdefekte am Fissurenboden

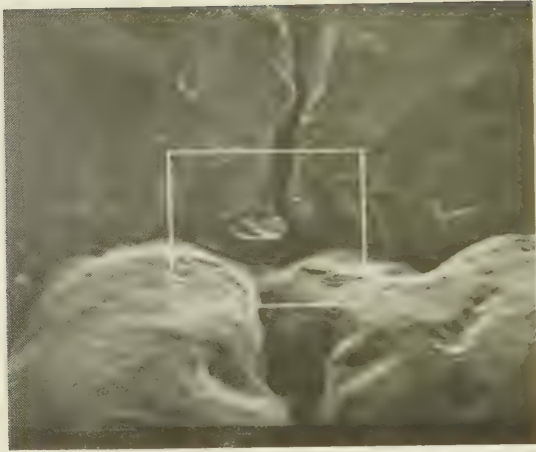


Abb. 26: Fissurenkreuzung mit mineralisierter Plaque



Abb. 27: Mineralisierte Plaque (gleiche Stelle wie in Abbildung 26)

4.2. REM-Untersuchungen von Adhäsiv-Matrizen des Fissurensystems

4.2.1. Beobachtungen an Adhäsiv-Matrizen, hergestellt nach mechanischer Entfernung des Schmelzoberhäutchens

Die Negativabdrücke des Fissurenreliefs offenbaren ein sehr komplexes System mit vielen Grübchen im Fissurenverlauf. Speziell in den Fissurenkreuzungen sind diese sehr tief und müssen daher als Prädilektionsstellen ersten Ranges angesehen werden. (Abb. 28 und 29)

Wie man anhand der Matrizen sieht, fließt der Versiegler-Kunststoff, trotz der manchmal vorhandenen Reste organischen Materials, auch in sehr enge Spalten von ca. 50 µm Breite, d.h. 1/4 der Breite einer Zahnbürstenborste. (Abb. 30 und 31)

Flache Fissuren zeigen mikromorphologisch ein deutliches Ätzmuster, da hier im Gegensatz zu den tiefen Fissuren das organische Material durch die Zahnreinigung vollständig entfernt wurde. Außerdem kann es bei der Säureapplikation keine Lufteinschlüsse geben.

Wie bei den Ätzmustern am Schmelz, beobachtet man auch auf dem Negativ verschiedene Strukturen. Je nachdem, ob die Prismenperipherie oder das Zentrum herausgelöst wurde, ergeben sich Zotten bzw. arkadenförmige Erhebungen in den Adhäsiv-Matrizen. (Abb. 32 und 33)

Man erkennt wiederum Bezirke ohne Ätzmuster inmitten deutlich geätzten Schmelzes. (Abb. 34)

Sie befinden sich auch an Stellen, wo keine Schicht organischen Materials oder Lufteinschlüsse das Ätzen behindern konnten. Fehlende Ätzmuster lassen daher auf eine andersartige Ausrichtung der Kristallite schließen. Wahrscheinlich liegen hier Bereiche

parallel ausgerichteter Apatitkristallite bzw. prismen-
freien Schmelzes vor.

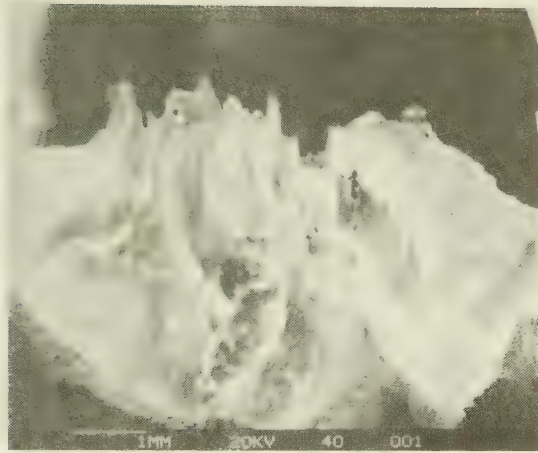


Abb. 28: Negativabdruck des Fissurenreliefs

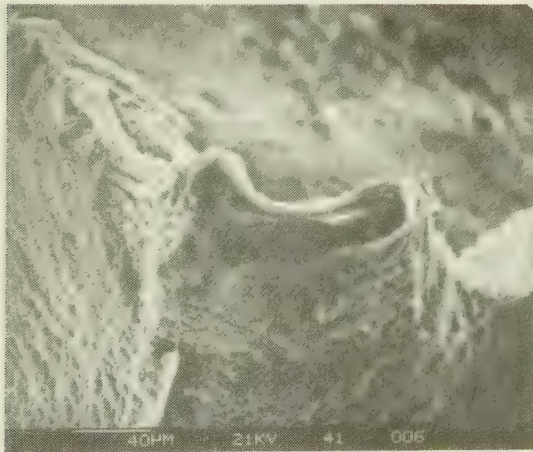


Abb. 29: Fissurenkreuzung mit Grübchen im Zentrum

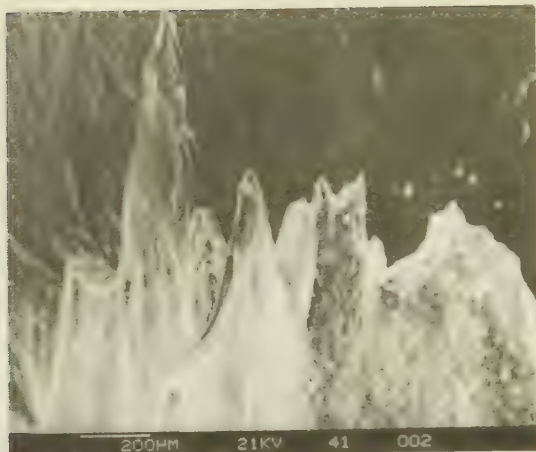


Abb. 30: Die Abbildung zeigt, daß der Versiegler auch in sehr tiefe und enge Spalten einfließt

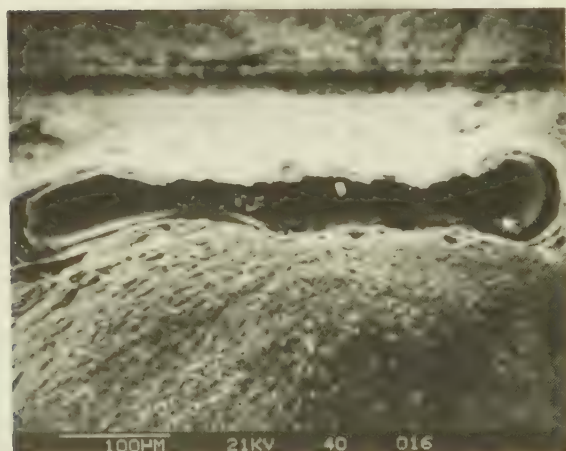


Abb. 31: Aufsicht auf eine Spitze aus Abbildung 30, die den Abdruck eines länglichen Grübchens mit ca. 50 μm Breite zeigt

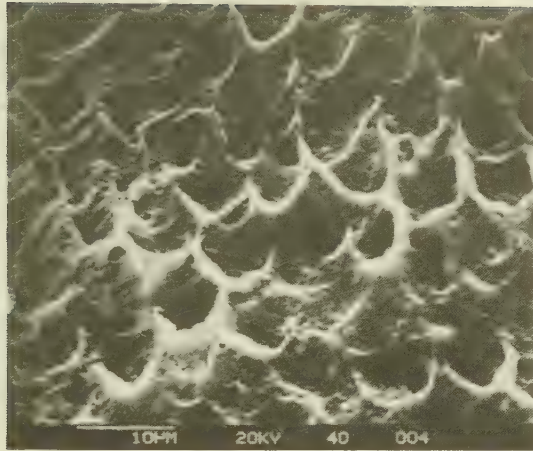


Abb. 32: Arkadenförmige Erhebungen in der Adhäsiv-Matrize

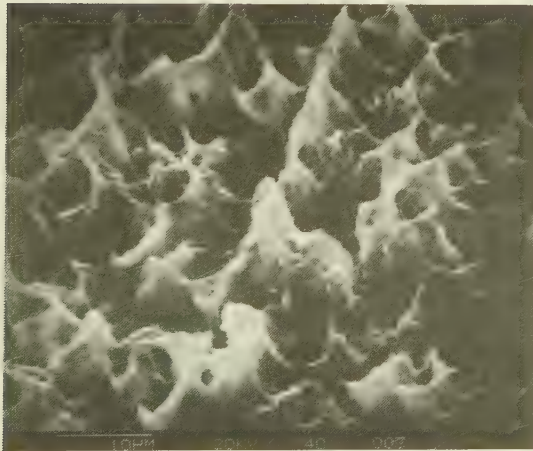


Abb. 33: Zottenförmige Erhebungen in der Adhäsiv-Matrize

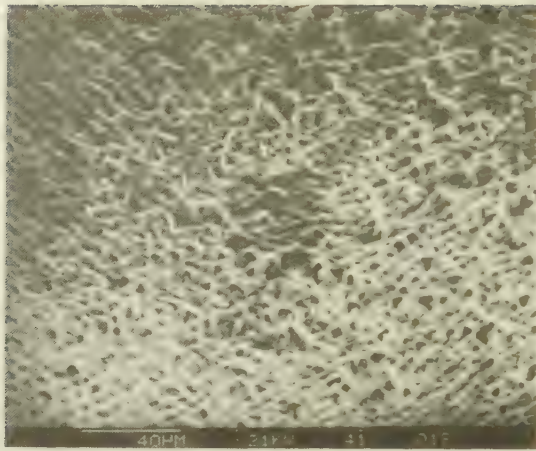


Abb. 34: Abdruck, der einen Bezirk ohne Ätzmuster
inmitten deutlich geätzten Schmelzes auf-
weist

4.2.2. Beobachtungen an Adhäsiv-Matrizen, angefertigt nach Entfernung des Schmelzoberhäutchens durch NaOCl

Nach Behandlung des Schmelzes mit NaOCl wird es der Säure ermöglicht noch tiefer in die Fissur einzudringen und die Schmelzoberfläche ohne Behinderung durch eine Diffusionsbarriere, wie sie das Schmelzoberhäutchen darstellt, anzuätzen. Dadurch wird auch in den tiefsten Stellen des Fissurensystems die Benetzungsfähigkeit der Schmelzoberfläche erhöht, was zur Folge hat, daß der Versiegler-Kunststoff tiefer penetriert und durch die intensivere Ätzung in der Tiefe der Fissur bessere Retentionsflächen vorfindet. Das führt zu einem dichteren Verschluß der Fissur und zu besserer Haftung der Versiegelung. Sogar Mikrosprünge und Poren im Fissurenschmelz werden aufgrund des guten Fließvermögens des Kunststoffes ausgeflossen.

Die Ätzmuster, die man beobachtet, gleichen denen auf den anderen Adhäsiv-Matrizen, d.h. sie sind von Bereich zu Bereich unterschiedlich strukturiert, je nachdem, ob die Prismenperipherie oder das Zentrum bevorzugt angeätzt werden. Durch den intensiveren Kontakt der Säure mit dem Schmelz in den tieferen Regionen der Fissur sind die Ätzmuster hier besser ausgebildet. Aus diesen Ergebnissen läßt sich ableiten, daß es Ziel weiterer Versuche sein sollte, eine Methode zu entwickeln, die die chemische Entfernung organischen Materials aus den Fissuren am Patienten in kurzer Zeit und auf effektive Art und Weise ermöglicht. Dies würde eine weitere Verbesserung der Fissurenversiegelung in bezug auf Dauerhaftigkeit und Dichte des Verschlusses bedeuten. (Abb. 35 und 36)

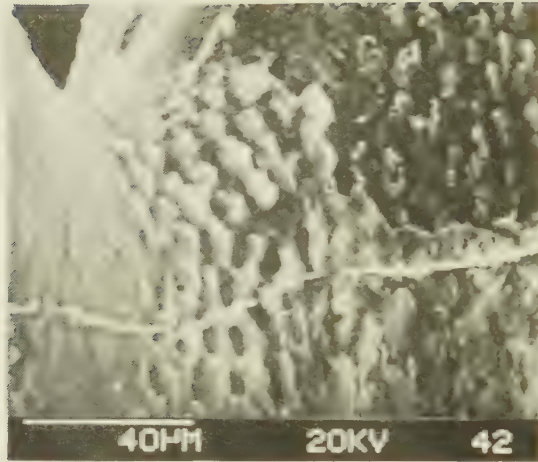


Abb. 35: Adhäsiv-Matrize vom Fissurenboden zwischen zwei Grübchen. Sie zeigt unterschiedliche Ätzmuster

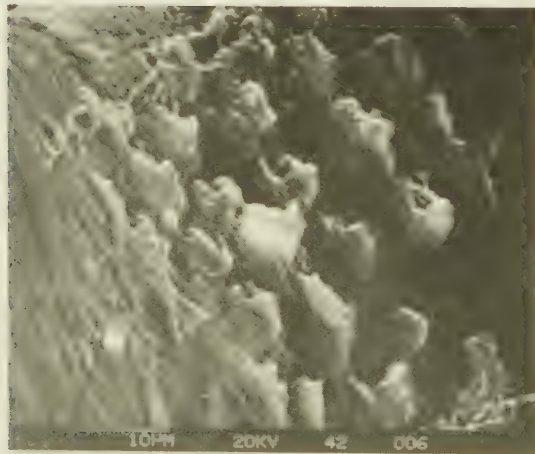


Abb. 36: Kegelförmige Zotten in der Adhäsiv-Matrize

5. DISKUSSION

Ausgehend von der Fragestellung nach den Ursachen der starken Karieshäufigkeit der Fissuren, d.h. ob diese endogen von der schlechten Mineralisation oder exogen von der Retentionsform der Fissuren hervorgerufen wird, fand man mit der Rasterelektronenmikroskopie das geeignete Untersuchungsverfahren.

Im Auflichtmikroskop können nur bei kleiner Vergrößerung zufriedenstellende Bilder gewonnen werden, da bei stärkerer Vergrößerung die hier so wichtige Tiefenschärfe zu gering ist und außerdem starke Lichtreflexionen auftreten.

Bei einer anderen Methode erhält man von einem Zahn ca. 12 Serienschliffe, die schon eine genauere Analyse der Fissur ermöglichen. Hierbei werden in Kunststoff eingebettete Zähne mittels diamantierter Scheiben zerschnitten und die dabei entstandenen Schliffe sorgfältig poliert. Aber auch bei dieser Technik geht die Zahnhartsubstanz zwischen den einzelnen Schliffen verloren und es besteht die Gefahr, daß auch bei sorgfältigster Präparation lockeres Material herausbricht. Zusätzlich tritt beim Polieren ein Maskierungseffekt auf, hervorgerufen durch Schleifspuren, die Oberflächenstrukturen im Schliff teilweise auslöschen. Darüberhinaus ist es sehr zeitaufwendig aus den zweidimensionalen Schnitten ein dreidimensionales Bild zu rekonstruieren.

Im REM dagegen kann man vom kompletten Fissurensystem ohne Zerstörung der Zahnkrone ein zweidimensionales Bild mit großer Tiefenschärfe, räumlicher Wirkung und ohne Reflexion erhalten. Wie man deutlich sehen konnte sind Fissuren und Grübchen Invaginationen im okklusalen Schmelzbereich, die extrem variabel in der Form sind und häufig irreguläre Einziehungen

aufweisen.

Nach der Anfertigung von Brüchen gelang es, auch in die tiefsten Stellen der Fissur Einblick zu nehmen. Die Beobachtungen vom Schmelz konnten zusätzlich noch durch die Untersuchung der Adhäsiv-Matrizen, die Abdrücke von der Schmelzoberfläche darstellen, ergänzt werden.

Um den Problemen wie Gewebeverlust und dreidimensionaler Rekonstruktion zu begegnen, wurde schon von Galil und Gwinnett (1975a) eine ähnliche Abdruckmethode, mit Vinylharz als Kunststoff, angewendet.

Nagano (1961) sowie Zuhrt und Vierus (1967) versuchten eine Fissur anhand von Dünnschliffen einem gewissen morphologischen Typ zuzuordnen. Bei diesem Vorgehen erhält man aber nur Ausschnitte der Fissur. Mit dem REM jedoch war es möglich, ein vollständiges Bild von der Komplexität und Feinstruktur des Fissurensystems zu erhalten. Durch die Untersuchung der unverletzten Okklusalfäche, bzw. der von ihr gewonnenen Adhäsiv-Matrizen erkannte man, daß die verschiedenen morphologischen Fissurentypen, mehr oder weniger stark ausgeprägt, alle im Verlauf einer Fissur auftreten. Es gibt also im Fissurensystem eines Molaren sowohl flache, weite, als auch tiefe, ampullenförmige Fissuren. Es läßt sich daher nur die Aussage machen, ob ein Fissurenrelief in der Form eher flacher oder steiler erscheint.

Die vorliegenden Untersuchungen der Schmelzstruktur mit Hilfe des REM ergaben, daß der Schmelz an der Wand und am Boden der Fissur Impressionen der Prismenenden aufweist. Die Impressionen unterscheiden sich in Form und Ausprägung nicht von denen im übrigen Schmelzbereich und sind, im Gegensatz zu Ooyas (1977) Beobachtungen am Boden nicht tiefer als in

anderen Regionen der Fissur. Diese charakteristischen Merkmale der Schmelzoberfläche werden an jedem Zahn und in jeder Fissur vorgefunden.

Neben solchen regelmäßigen Strukturen sah man gelegentlich Fissuren, in denen sich stellenweise Bezirke mit vertieften Prismenimpressionen befanden. Wahrscheinlich handelt es sich hierbei um Schmelzdefekte, die durch lokale Störungen der Amelogenese hervorgerufen werden. Möglicherweise kommt es am Schluß der Schmelzentwicklung zu Degenerationserscheinungen in den Ameloblasten, die sich in einer verminderten Sekretionsleistung äußern und somit zu tieferen Impressionen führen, da die Schmelzbildung nicht ganz zu Ende geführt werden konnte.

Eine Erklärung für diese Störungen der Ameloblastenfunktion könnte Platzmangel sein, der in dem immer enger werdenden Fissurenspalt auftritt und die Ameloblasten degenerieren läßt, bzw. ihre Versorgung mit für die Schmelzbildung essentiellen Stoffen einschränkt. Vergleichbar ist dieser Vorgang mit der Vorstellung Schours und Masslers, die auf diese Weise die Fissurenbildung erklären.

Eine ähnliche Ursache haben die porösen Schmelzoberflächen am Boden und an der Wand der Fissur. Sie sind wahrscheinlich das Ergebnis von Ausfallerscheinungen einzelner Ameloblasten, die sich in Poren von ca. 10 µm Durchmesser auf der Schmelzoberfläche äußern.

Poröse Schmelzbereiche sind kein häufiges Merkmal der Fissurenoberfläche, sondern es sind Zufallsbefunde, die nur bei wenigen Zähnen und hier nur an einzelnen Stellen des Schmelzes vorkommen. Auch Crabb (1976) beobachtete in Schnittpräparaten Zonen porösen Schmelzes. Bei durchgebrochenen Zähnen, die der Abrasion unterlagen, fand er nur noch in den Fissu-

ren poröse Stellen vor.

Lokale Defekte in der Struktur der Schmelzoberfläche haben möglicherweise eine höhere Kariesempfänglichkeit als die übrigen Bereiche der Fissur. Die Erklärung Oovas (1977), wonach die Karies an Stellen der Fissur beginnt, die besonders tiefe Impressionen der Prismenenden aufweisen und damit vermehrt zur Retention von Mikroorganismen neigen sollen, klingt plausibel. Bei näherer Untersuchung stellt man aber fest, daß jeder Abschnitt der Fissur, der enger als circa 200 μm ist, einer mechanischen Reinigung nicht zugänglich ist. Somit wird auch an "glatten" Stellen der Fissur die Akkumulation von Plaque nicht geringer sein als in den unebenen Schmelzbezirken, da beide nicht plaquefrei gehalten werden können.

Die zweite Erklärung für die erhöhte Kariesempfänglichkeit einer defekten Schmelzoberfläche wäre die, daß aufgrund eines höheren Anteils an organischem Material, verursacht durch eine Hypomineralisation, größere Spalten und Diffusionskanäle zwischen den Kristalliten in der Oberfläche vorhanden sind und damit die Entmineralisation der Schmelzschichten unterhalb der Oberfläche schneller vonstatten gehen kann.

Eine weitere Struktur des Schmelzes sind Oberflächen im Fissurensystem, die glatt erscheinen und keine Impressionen aufweisen. Es sind Bezirke unterschiedlicher Größe, deren kleinster Durchmesser 10 bis 20 μm beträgt und die nicht bei allen Zähnen beobachtet werden. Sie kommen auf der gesamten okklusalen Oberfläche vor, ohne jedoch an einem bestimmten Ort gehäuft aufzutreten. Selbst nach leichter Anätzung mit Phosphorsäure zeigen diese Bezirke keine Prismenstruktur und werden daher von anderen Autoren als prismenfreie Schmelzbezirke

bezeichnet.

In bezug auf die Häufigkeit des prismenfreien Schmelzes kommt die vorliegende Arbeit zu ähnlichen Ergebnissen wie Hørsted et al. (1976), die Dünnschichtpräparate untersuchten und widerspricht damit Gwinnett (1967), der in seinen Beobachtungen häufiger prismenfreien Schmelz vorfand. Sowohl im Licht- als auch im Rasterlektronenmikroskop (bei Vergrößerung bis ca. 3000-fach) scheint die Schmelzoberfläche mit einer amorphen Schicht, vergleichbar einer Glasur, bedeckt zu sein. Daher rührt auch die Bezeichnung dieser Zahnhartsubstanz mit dem Wort "Schmelz", d.h. sie gleicht einer geschmolzenen Masse, die über das Dentin gegossen wird.

Bei stärkerer Vergrößerung mit dem REM und besonders im Transmissionselektronenmikroskop (TEM) erkennt man aber, daß diese Schicht doch strukturiert und aus parallel angeordneten Kristalliten aufgebaut ist.

Werden jedoch diese Bereiche des Schmelzes stärker angeätzt, so erscheint der prismatische Schmelz mit seinen typischen Impressionen und Ätzmustern. Wie Brüche von Zahnkronen zeigen, ist prismatischem Schmelz an verschiedenen Stellen eine dünne (ca. 3 bis 20 μm dicke) Schicht prismenfreien Schmelzes aufgelagert. Bei entsprechender Dicke deckt sie selbst die Impressionen der Prismenenden zu und bewirkt so eine ebene Schmelzoberfläche.

Die Kristallite dieser Schicht sind einheitlich senkrecht zur Schmelzoberfläche ausgerichtet, während sie im prismatischen Schmelz, je nach dem welcher Bereich des Prismas untersucht wird, in unterschiedlicher Richtung zur Oberfläche verlaufen (Hørsted et al., 1976).

Die Prismen selbst nehmen im Fissurenbereich einen spitzen

Winkel zur Schmelzoberfläche ein, d.h. er beträgt zwischen 40° und 90° , während er im Höckerbereich immer 90° beträgt. Bei den Beobachtungen an den Brüchen der Fissuren hat man den Eindruck, daß die Apatitkristallite auf den äußeren ca. $20\text{ }\mu\text{m}$ parallel ausgerichtet sind und fast senkrecht auf die Schmelzperipherie treffen.

Eine Erklärung für die Entstehung des prismenfreien Schmelzes liefert A.G. Gustafson (1959), die annimmt, daß er durch eine Kompression der Prismen im Fissurenbereich gebildet wird. Das würde aber bedeuten, daß prismenfreier Schmelz gehäuft in den engsten Fissuren und Grübchen vorkommen und es einen Mechanismus geben müsse, der eine Kompression der Prismen bewirkt. Beides ist aber nicht der Fall und es gibt prismenfreien Schmelz auch auf den Glatflächen des Zahnes.

Eine andere Ansicht vertritt Boyde (1965), der davon ausgeht, daß die Apatitkristallite bei der Mineralisation senkrecht auf den konischen Tomesschen Fortsätzen stehen und diese sich, wenn die Ameloblasten die Schmelzperipherie erreichen, abflachen und dadurch eine lineare Mineralisationsfront erzeugen. Somit wären auf der Schmelzoberfläche keine Impressionen zu sehen und die Kristallite müßten alle senkrecht zur Oberfläche ausgerichtet sein.

Die Existenz des prismenfreien Schmelzes widerspricht eigentlich der Vorstellung von einer interprismatischen Substanz und der Annahme, daß ein Prisma von einem Ameloblasten produziert wird, da auf der Schmelzoberfläche Prismengrenzen, als Grenzen der Ameloblastenwirkung, nicht zu erkennen sind. Man nimmt daher an, daß Prismen sekundäre Strukturen sind, deren Grenzen durch das Zusammentreffen von Kristalliten unterschiedlicher Richtung zustandekommen. Die prismenfreie Schicht scheint daher Schmelz zu sein, der am Ende der Funk-

tionsperiode der Ameloblasten produziert wird und dessen Kristallite durch parallele Ausrichtung der Fibrillen eine einheitliche Orientierung aufweisen.

Ein anderer strittiger Punkt ist die Dicke der prismenfreien Schicht, die von Gwinnett (1967) mit 15 bis 20 μm , bei durchgebrochenen, bleibenden Zähnen, angegeben wird. Dagegen fand Ooya (1977) nach REM-Untersuchungen von älteren, kariesfreien, bleibenden Zähnen in den Fissuren eine nur ca. 3 μm dicke prismenfreie Zone vor. Wahrscheinlich unterliegt die Schichtdicke des prismenfreien Schmelzes großen Schwankungen, je nachdem in welcher Phase die Schmelzbildung zum Stillstand kommt.

Nach Gwinnett (1967) ist prismenfreier Schmelz durch parallele Anordnung der Kristallite dichter gepackt und damit im Vergleich zum darunterliegenden Schmelz hypermineralisiert. Prismenfreier Fissurenschmelz soll daher härter und weniger säurelöslich sein und so der kariösen Zerstörung länger widerstehen können (Schroeder, 1976).

Crabb (1976b) fand jedoch eine Zone porösen, hypomineralisierten Oberflächenschmelzes vor, die bei frisch durchgebrochenen Zähnen 100 bis 180 μm Dicke besitzt und während der Gebrauchsperiode langsam abradiert wird, aber speziell in den Fissuren lange Zeit vorzufinden ist.

Diese unterschiedlichen Ergebnisse sind offensichtlich auf die Untersuchungsmethoden dieser Autoren zurückzuführen. Sie analysierten nur Schliffpräparate und zogen entsprechend der dort vorzufindenden Strukturen Rückschlüsse auf die Struktur der ganzen Fissur, bzw. des ganzen Zahnschmelzes.

Wie in dieser Arbeit festgestellt wurde, sind ihre Beobachtungen nicht als falsch zu bewerten, doch sie können mit ihren Deutungen nicht so weit gehen, da aufgrund der ihnen

zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden die Aussagekraft der Ergebnisse limitiert ist.

Die verschiedenen Ansichten zur Struktur des Fissurenschmelzes wirken sich natürlich auch auf die Erklärung der hohen Kariesanfälligkeit der Fissuren aus. So müßte nämlich der Fissurenboden, der nach Lutz et al. (1978) häufig prismenfreien Schmelz besitzt, besonders kariesresistent sein, da nach Schroeder (1976) prismenfreier Schmelz der Karies länger widersteht.

Nach Crabb (1976a) wäre aber die Fissur, da sie poröse Schmelzbereiche besitzt, geradezu zur Karies prädisponiert. Auch das vermehrte Auftreten vertiefter Prismenimpressionen, das Ooya (1977) vorgefunden hat, würde Fissuren für Karies anfälliger machen.

Die Befunde dieser Autoren können jedoch nicht generell auf alle Fissuren übertragen werden, da es sich nur um einzelne Ausschnitte aus der Fissur handelt, die diese Merkmale zeigen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen keinen charakteristischen Unterschied zwischen dem Schmelz auf dem Fissurenboden und in den übrigen Bereichen der Okklusalfäche erkennen. Die Unterschiede in der Kariesanfälligkeit der Fissuren lassen sich also nicht durch Unterschiede in der Struktur des Schmelzaufbaus erklären. Die starke Anfälligkeit der Fissuren für Karies ist daher nicht auf eine minderwertige Schmelzstruktur zurückzuführen, sondern sie ist das Resultat der Retentionsform der Fissuren. Das stimmt auch mit der Beobachtung überein, daß sich das Kariesinitial in flachen Fissureneingangstrichtern auf dem Boden und in steilen Eingangstrichtern an den Wänden befindet. Die größten Plaqueansammlungen befinden sich nämlich in diesem Bereich.

Diese Ansicht vertreten auch Nagano (1961) und König (1963). Andere Autoren (z.B. Bödecker, 1924), die vermuten, daß in engen Fissuren die Karies am Boden ihren Ursprung nimmt, scheinen dagegen fortgeschrittene Läsionen untersucht zu haben, bei denen sich die Karies vom Fissureneingang schon bis zum Boden ausgebreitet hat.

Karies beginnt gewöhnlich mit einer Schmelzentmineralisation der Bereiche unterhalb der Oberfläche bei anscheinend intaktem Oberflächenschmelz. Es entsteht dadurch eine subsurface-Läsion, die man von außen an der Bildung eines Kreideflecks (white spot) erkennt.

Lenz und Mühlemann (1963) konnten jedoch mit dem Elektronenmikroskop zeigen, daß diese scheinbar intakte Oberfläche im submikroskopischen Bereich schon Defekte zwischen den Kristalliten aufweist. Wird die subsurface-Läsion größer, so wird der oberflächliche Schmelz geschwächt und es brechen teilweise Prismen aus dieser Schicht heraus. Daraus läßt sich schließen, daß die Spalten zwischen den Kristalliten und Prismen erweitert wurden und wahrscheinlich als Diffusionskanäle zum Abtransport der gelösten Schmelzminerale dienen. Aufgrund der Existenz dieser Spalten müßte der oberflächliche Schmelz hypomineralisiert sein.

Nach Aoba et al. (1981) soll es bei der Entstehung der subsurface-Läsion aber zu einer Hypermineralisation der Oberflächenschicht kommen, die durch eine Ablagerung oder Rekristallisation der gelösten Mineralien in dieser Schicht hervorgerufen werden soll.

Newesely (1981) ist der Ansicht, daß in Schmelzläsionen ein Reaktionsgleichgewicht besteht, d.h. De- und Remineralisationsvorgänge laufen im Kristallgefüge des Schmelzes ab und

es besteht die Möglichkeit eines blättchen- oder schollenförmigen Niederschlags von Apatit auf der Oberfläche.

Nach Lenz und Mühlemann (1963) kommt es bei der Remineralisation zu einer Anlagerung von Apatitkristalliten in den Schmelzspalten, was zum Verschwinden des Kreideflecks führt, ohne aber eine restitutio ad integrum des Schmelzgefüges zu bewirken.

Ooya (1977) sieht in der Remineralisation auch eine Möglichkeit zur Bildung einer prismenfreien Schmelzschicht, die sich auf der Oberfläche niederschlagen soll. Er fand an älteren, kariesresistenten Zähnen eine dickere prismenfreie Schicht als an frisch durchgebrochenen Zähnen. Diese prismenfreie Schicht könnte seiner Vermutung nach die Diffusionskanäle zur subsurface-Läsion blockieren und so zu einem Sistieren der Karies führen.

Der Vorstellung von einer intakten Schmelzoberfläche beim white spot widersprechen teilweise die Beobachtungen von Haikel et al. (1983), die in der glatten, unversehrten Oberfläche stellenweise kleine Defekte und auch Löcher von 8 bis 10 μm Durchmesser entdeckten. Diese werden als "micropits" (kleine Grübchen) bezeichnet und sollen bei der Demineralisation als Diffusionskanäle dienen.

Ob diese Defekte bei der Entstehung des white spots gebildet werden oder schon vorher aufgrund einer Entwicklungsstörung des Schmelzes vorhanden waren, müssen zukünftige Untersuchungen zeigen.

Zu einem Abtransport der aus der subsurface-Läsion gelösten Mineralien reichen jedoch die Spalten zwischen den Prismen und Kristalliten aus, so daß die "micropits" zur Bildung des white spots nicht nötig sind.

Ein anderes Problem ist das der Unterscheidung zwischen white

spots und weißlich, opaken Schmelzbildungsdefekten. Nach Lenz lassen sie sich im ultrastrukturellen Bereich mit dem Transmissionselektronenmikroskop unterscheiden, da nur in bezug auf die Kristallite Unterschiede bestehen. So findet man in kariesbedingten Läsionen, wie Arends und Jongebloed (1977) feststellten, eine Hohlrohrbildung der Schmelzkristallite. Bei Schmelzbildungsdefekten jedoch sieht man statt einer Hohlrohrbildung teilweise unregelmäßig gestaltete Kristallite, bei denen es sich nicht um Apatit, sondern um Oktakalziumphosphat handelt.

Die Untersuchung des Fissureninhaltes ergab - nach Entfernung des organischen Materials mittels NaOCl an manchen Stellen der Fissur -, daß Auflagerungsreste verblieben waren. Bei stärkerer Vergrößerung erwiesen sie sich als mineralisierte Plaque. Sie tritt vornehmlich in Zähnen auf, die schon lange der Karies widerstanden haben.

Das Phänomen der Mineralisation des Fissureninhaltes wurde von Galil und Gwinnett (1975c) beschrieben. Sie führen es auf starke Plaqueansammlungen zurück, die unter entsprechenden Bedingungen, ähnlich denen bei der Zahnsteinbildung, mineralisieren, wobei der Grad der Mineralisation vom Eingang der Fissur bis zum Boden hin zunimmt. Nach ihren Beobachtungen zeigen nur 28 % der Fissuren keine Anzeichen einer Mineralisation von Mikroorganismen, doch 2 % der Fissuren waren komplett vom Eingang bis zum Boden mineralisiert. Diese verschlossenen Fissuren sind schon lange dem Mundmilieu ausgesetzt und zeichnen sich durch besondere Kariesresistenz aus. In der überwiegenden Anzahl von Fissurenläsionen breitet sich die Karies sehr schnell aus und es kommt sehr selten zu einem Sistieren der Fissurenkaries. Im Alter von 14 Jahren haben 98 % aller 6-Jahr-

Molaren Fissurenkaries (Marthaler, 1966).

In einer Studie untersuchte Backer Dirks (1965) Approximal- und Fissurenkaries bei Kindern und stellte fest, daß eine Approximalläsion in 50 % der Fälle nicht fortschreitet. Wie Zuhrt (1967) meint, erklären Unterschiede in den Kauflächendetails die Differenz im Kariesbefall der einzelnen Zähne. Je nachdem inwieweit die Fissurenform die Retention von Plaque begünstigt, zeigen sie unterschiedlich starke Neigung zu kariöser Destruktion.

Nach Bossert (1933) steht die Empfänglichkeit der okklusalen Oberfläche für Karies im Zusammenhang mit der Steilheit der Höckerabhänge und der Tiefe der Fissur. Tiefe Fissuren scheinen anfälliger zu sein als flache. Nimmt die Steilheit der Höckerabhänge zu, so nimmt auch die Wahrscheinlichkeit einer Kariesentwicklung zu.

Innerhalb von 24 Stunden nachdem die Fissur mit dem Mundmilieu in Berührung gekommen ist, wird sie von Mikroorganismen kolonisiert (Thott et al., 1974). Durch mechanische Retention von vergärbarem Substrat kommt es zur Produktion von kariogenen Substanzen und damit zum ersten Angriff auf den Zahnschmelz. Wegen der Enge der Fissuren, die an den tiefsten Stellen nur 40 bis 50 µm breit sind, bleibt der Fissurengrund für die Borsten einer Zahnbürste, die ca. 200 µm Durchmesser haben, unerreichbar.

Das bedeutet, daß selbst bei perfekter Mundhygiene ausschließlich die Fissureneingänge plaquefrei zu halten sind, tiefere Bereiche aber einer Plaqueentfernung nicht zugänglich sind.

(Abb. 37).

Somit kann sich in der Tiefe der Fissur die kariöse Läsion ungestört entwickeln, zumal an dieser Stelle oft nur eine dünne Schmelzschicht den Fissurengrund vom Dentin trennt und dadurch die Karies schnell in Richtung Pulpa vordringt.



Abb. 37: Borste einer Zahnbürste (ϕ ca. 200 μ m)
in der Fissur (Breite ca. 50 - 100 μ m)

Da die Kariesprävention durch mechanische Reinigung der Fissuren ineffektiv ist, hat man schon in früher Zeit verschiedene Methoden zum Schutz dieses Bereiches vor Karies entwickelt. Die von Hyatt (1923), Bödecker (1929) und Drum (1954) vorgeschlagenen Praktiken waren nicht sehr verbreitet, da es ihnen am gewünschten Erfolg mangelte. Auch die chemische Reinigung der okklusalen Oberfläche mit bakteriziden Mitteln, wie Silbernitrat, Zinkchlorid und rotem Kupferzement, wurde versucht, doch hatte sie keinen lang anhaltenden Effekt. Die Entwicklung der lokalen Fluoridierung brachte zwar eine Verbesserung in der Bekämpfung der Karies, aber auch sie besitzt ihre geringste Wirkung im Fissurenbereich (Horowitz und Peterson, 1966). Erst 1955, als Buonocore eine Methode der Fissurenversiegelung mit Methacrylaten auf angeätztem Schmelz einführte, war eine effektive Präventivtherapie möglich geworden.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Versiegelung anhand von sogenannten Adhäsiv-Matrizen untersucht, d.h. die frisch extrahierten Zähne wurden in der gleichen Weise wie am Patienten versiegelt. Daraufhin wurde die Okklusalfäche, um sie auf dem Trägerteller aufkleben zu können, mit Palavit-Kunststoff überschichtet und damit eingeebnet.

Anschließend wurde die Zahnhartsubstanz chemisch durch konzentrierte HCl entfernt. Mit dieser Methode konnte die vollständige Versiegelung im REM untersucht werden und man hatte die Möglichkeit die Unterfläche der Versiegelung, die gleichzeitig einen Abdruck von der Schmelzoberfläche liefert, zu analysieren.

Parallel dazu wurden Zähne untersucht, deren Fissuren, nicht wie am Patienten mit Bürste und Bimsstein, sondern chemisch durch 12%ige NaOCl-Lösung gereinigt wurden, um so eine vollständige Befreiung von organischen Auflagerungen zu erreichen.

Wie die Untersuchungen ergaben, füllt der verwendete Fissurenversiegler das komplexe okklusale Relief fast vollständig aus. Selbst enge Spalten von 50 µm Breite werden vom Kunststoff ausgeflossen.

Bei mechanischer Reinigung der Fissuren bleiben jedoch in den tiefsten Stellen Reste organischen Materials liegen und verhindern einen Kontakt dieser Schmelzpartien mit der Phosphorsäure. Durch die fehlende Anätzung in diesen Bereichen ist die Retentionsmöglichkeit sowie die Benetzungsfähigkeit des Kunststoffes vermindert. Durch letzteres kommt es leichter zu Luft einschließen, die ein vollständiges Ausfließen der Fissur mit Kunststoff verhindern. Ob das die Qualität der Versiegelung einschränkt ist nicht sicher, da ja im darüberliegenden Teil die Fissur hermetisch dicht abgeschlossen ist.

Wie aus den Adhäsiv-Matrizen zu ersehen war, ist das Behandeln der Fissur mit 12%iger NaOCl-Lösung für 24 Stunden eine in-vitro-Methode, die die vollständige Reinigung der Fissuren ermöglicht. Es sollte daher nach Methoden gesucht werden, die auch am Patienten einen vergleichbaren Reinigungseffekt aufweisen. Ob zum Beispiel im Munde innerhalb von ein bis zwei Minuten, in denen 12%ige NaOCl-Lösung in Verbindung mit der mechanischen Reinigung durch eine vibrierende Nadel, die durch die Fissuren gezogen wird, auf den Zahn einwirkt, eine ausreichende Reinigungswirkung erzielt wird, muß durch weitere Versuche herausgefunden werden.

Eine ähnliche Methode, die statt mit NaOCl gleich mit Phosphorsäure arbeitet, haben Tadokoro et al. (1982) erfolgreich angewandt, aber auch sie können in-vitro-Ergebnisse vorweisen.

Eine vollständige Entfernung des organischen Materials aus den Fissuren würde eine weitere Verbesserung der Versiegelung durch stärkere Retention und noch dichteren Verschluß bedeuten. Dadurch könnten die Vorbehalte mancher Autoren dieser Methode gegenüber entkräftet werden.

Die Fissurenversiegelung ermöglicht es den Kariesprozeß nicht durch eine Resistenzerhöhung des Schmelzes zu beeinflussen, sondern sie unterbindet den Vorgang an sich, indem sie den Kontakt von Mikroorganismen und Substrat mit den gefährdeten Schmelzarealen verhindert. Über einen hermetisch dichten Verschluß der Fissuren wird die Karies sozusagen "ausgesperrt". Durch das Unterbleiben der Substratzufuhr sterben selbst noch in initialen, kariösen Läsionen die eingedrunnenen Bakterien ab (Handelman, 1976; Going et al., 1978).

Auch in größeren Läsionen kommt es zu einer Verminderung der aktiven Mikroorganismen, die bei intakter Versiegelung nach fünf Jahren 98 % der aktiven kariösen Stellen in einen inaktiven

Zustand zurückführt (Going et al., 1978).

Wie in der vorliegenden Untersuchung festgestellt wurde, ist die hohe Kariesprävalenz der Fissuren nicht auf eine minderwertige Schmelzstruktur zurückzuführen, sondern sie ist das Resultat der Retentionsform der Fissur, verknüpft mit einer dünnen Schmelzschicht am Fissurenboden und der Unzugänglichkeit dieses Bereiches für Mundhygienemaßnahmen.

Geht man von diesen Ergebnissen aus, so ist die logische Folgerung daraus die Kariesprophylaxe durch Fissurenversiegelung, da andere Methoden, selbst bei Patienten, die optimale Mundhygiene und Fluorprophylaxe betreiben, die Entstehung einer Karies in den Fissuren nicht verhindern können. In Anlehnung an Blacks "extension for prevention" sollte deshalb die Devise lauten:

"sealing for prevention".

6. Z U S A M M E N F A S S U N G

Mit Hilfe des REMs wurden Fissuren menschlicher Molaren untersucht, um eine Antwort auf die Frage nach der Struktur des Zahnschmelzes und den Ursachen der großen Kariesanfälligkeit in diesem Bereich zu finden.

Durch die Untersuchung des kompletten Fissurensystems konnte ein Bild von der Vielgestaltigkeit der Fissurenform und der Schmelzmorphologie der gesamten Fissur gewonnen werden.

Neben unbehandelten Schmelzoberflächen wurde Schmelz untersucht, der durch Phosphorsäure angeätzt wurde, um über die sich zeigenden Ätzmuster Rückschlüsse auf die Mineralisation und Struktur des Fissurenschmelzes zu ziehen.

Als Ergänzung dazu wurden Fissuren versiegelt und nach Auflösung der Zahnkrone mittels Salzsäure wurden sogenannte Adhäsiv-Matrizen hergestellt. Diese gestatteten es, die Unterseite der Versiegelung, die gleichzeitig einen Abdruck von der Schmelzoberfläche darstellt, zu analysieren.

Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden im Vergleich mit den Veröffentlichungen anderer Autoren diskutiert. Auf die aufgeworfenen Fragen zu den Ursachen der Karieshäufigkeit der Fissuren und nach einer Prophylaxemöglichkeit in diesem Bereich konnte eine Antwort gefunden werden.

- Allein durch Schmelzdefekte in den Fissurenoberflächen läßt sich das vermehrte Auftreten der Karies in den Fissuren nicht erklären, da Defekte auch in anderen Bereichen der Schmelzoberfläche vorkommen.
- Wegen der Komplexität des Fissurensystems, mit vielen

Invaginationen und Grübchen sowie der Enge der Fissuren an sich, ist es nicht möglich, diese plaquefrei zu halten.

- Die Ursachen des häufigen Auftretens der Fissurenkaries scheinen daher die starke Plaqueakkumulation aufgrund der mangelnden Reinigungsmöglichkeit der Fissur und die geringe Dicke der Schmelzschicht am Fissurenboden zu sein.
- Durch die Versiegelung mittels Bis-GMA-Kunststoffen auf angeätztem Schmelz ist es möglich einen hermetisch dichten Verschuß der Fissur herzustellen und über eine Verhinderung des Kontaktes zwischen Schmelz und Mikroorganismen des Kariesprozeß zu unterbinden.

7. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- Aoba, T., Moriwaki, Y.,
Doi, Y., Okazuki, N.,
Takahashi, J. und Yagi, T.: The intact surface layer in
natural enamel caries and acid
dissolved hydroxyapatite pellets.
J. Oral. Path. 10, 32 - 39 (1981)
- Arends, J. und
Jongebloed, W.L.: Mechanism of enamel dissolution
and its prevention. Jour. biol.
buccale 5, 219 - 237 (1977)
- Awazawa, Y.: Electron microscopic study on
the hypomineralized enamel areas
descending from the floors of
occlusal fissures toward the ame-
lo-dentinal junctions. J. Nihon
Univ. Sch. Dent. 8, 33 - 42 (1966)
- Awazawa, Y.: Re-examination of the morphology
of caries susceptible grooves in
the premolar and molar. J. Nihon
Univ. Sch. Dent. 11, 1 - 15 (1969)
- Backer-Dirks, O.: The distribution of caries re-
sistance in relation to tooth
surface. In: Caries resistant teeth,
ed. Wolstenholme / O'Connor. Chur-
chill Ltd. London 1965
- Backer-Dirks, O.: Posteruptive changes in dental
enamel. J. dent. Res. 45, 503 -
511 (1966)
- Berman, D.S. und
Slack, G.L.: Susceptibility of tooth surfaces
to carious attack. Brit. Dent.
J. 134, 135 (1973)
- Binus, W. und Jurk-
schat, U.: Zur Erkennbarkeit initialer kariö-
ser Veränderungen. Stomat. DDR 27,
532 - 536 (1977)
- Black, G.V.: Operative dentistry. Medico Dental
Publishing Co., Chicago 1908
- Black, G.V.: Konservierende Zahnheilkunde.
Hermann Meuser, Berlin 1914

- Bödecker, Ch. F.: Microscopic study of enamel fissures with reference to their operative treatment. Dent. Cosmos 66, 1056 (1924)
- Bödecker, Ch. F.: The eradication of enamel fissures. Dent. Items of Interest. 51, 859 - 866 (1929)
- Bossert, W.A.: The relation between the shape of the occlusal surfaces of molars and the prevalence of decay. J. dent. Res. 13, 125 - 128 (1933)
- Boyde, A. und Knight, P. J.: The use of the scanning electron microscopy in clinical dental research. Brit. Dent. J. 127, 313 - 322 (1969)
- Boyde, A.: Scanning electron microscopy of the completed enamel surface. In: Tooth Enamel II, hrsq. von R. W. Fearnhead, M.V. Stack, J. Wright, Bristol 1971, S. 39
- Boyde, A.: Structure of the developing mammalian dental enamel. Tooth Enamel, Wright, Bristol 1965, S. 163 - 167
- Brännström, M., Cala, G., Nordenvall, K.J., und Torstenson, B.: Invasion of microorganisms and some structural changes in incipient enamel caries. Caries Res. 14, 276 (1980)
- Buonocore, M.G.: A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J. Dent. Res. 16, 63 (1955)
- Buonocore, M.G.: Caries prevention in pits and fissures sealed with an adhesive resin polymerized by ultraviolet light: a two year study of a single adhesive application. J. Am. dent. Ass. 82, 1090 - 1093 (1971)

- Buonocore, M.G.: Adhesives for pit and fissure caries control. Dent. Clin. North. Amer. 16, 693 - 708 (1972)
- Carlos. J.P. und Gittelsohn, A.M.: Longitudinal studies of the natural history of caries. Arch. Oral. Biol. 10, 739 (1965)
- Crabb, H.S.M.: Fissures at risk. Brit. dent. J. 140, 303 - 307 (1976 a)
- Crabb, H.S.M.: The porous outer enamel of unerupted human premolars. Caries Res. 10, 1 - 7 (1976 b)
- Day, C.D.M. und Sedwick, H.J.: Studies on the incidence of dental caries. Dent. Cosmos. 77, 442 (1935)
- Driessens, F.C.M.: Mineral Aspects of Dentistry, S. Karger Verlag, Basel 1982b
- Driessens, F.C.M. et al.: Die anorganische Zusammensetzung und die Kariesempfindlichkeit des Zahnschmelzes. Kariesprophylaxe 4, 37 - 42 (1982a)
- Drum, W.: Die Schliff-Punkt-Füllung. Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 859 (1954)
- Engel, W.: Schmelzverfärbungen beim Kariesprozeß. Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1403 - 1407 (1967)
- Ermin, R.: Histologische und histochemische Untersuchung kariöser und entmineralisierter Zahngewebe. Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1408 - 1416 (1967)
- Ermin, R.: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an Fissurenkaries bei menschlichen Zähnen. Dtsch. zahnärztl. Z. 30, 614 - 627 (1975)

- Featherstone, J.D.B., Cutrers, T.W., Rodgers, B.E. und Dennisson, P.J.: Remineralization of artificial caries-like lesions in vivo by a self-administered mouthrinse or paste. Caries Res. 16, 235 - 242 (1982)
- Fejerskov, O., Melsen, B. und Karring, T.: Morphometric analysis of occlusal fissures in human premolars. Scand. J. dent. Res. 81, 505 - 510 (1973)
- Fejerskov, O., Silness, J., Karring, T. und Løe, H.: The occlusal fissure of unerupted third molars as an experimental caries model in man. Scand. J. dent. Res. 84, 142 - 149 (1976)
- Folk, L.E.A., Sveen, O.B. und Thott, E.K.: A new methodology for study of plaque formation in natural human fissures. Scan. J. dent. Res. 81, 411 (1973)
- Fusayama, T.: Diagnosis and distribution of pits and fissures. J. prosth. Dent. 14, 117 - 126 (1964)
- Galil, K.A. und Gwinnett, A.J.: Three dimensional replicas of pits and fissures in human teeth: Scanning electron microscopic study. Arch. Oral Biol. 20, 493 - 495 (1975 a)
- Galil, K.A. und Gwinnett, A.J.: Histology of fissures in human unerupted teeth. J. dent. Res. 54, 960 - 965 (1975b)
- Galil, K.A. und Gwinnett, A.J.: Human tooth fissure contents and their progressive mineralization. Arch. Oral. Biol. 20, 559 - 562 (1975 c)
- Gillings, H.C. und Buonocore, M.G.: Enamel thickness in pits and fissures of human posterior teeth. J. dent. Res. 40, 119 - 133 (1961)
- Gillings, H.C. und Buonocore, M.G.: Thickness of enamel at the base of pits and fissures in human molars and bicuspid. J. dent. Res. 39, 675 (1960)

- Going, R.E., Haugh, L.D., Grainger, D.A. und Conti, A.J.: Two year clinical evaluation of a pit and fissure sealant. Part I: J. Amer. dent. Ass. 92, 388 - 397, (1976). Part II: J. Amer. dent. Ass. 92, 578 - 585 (1976)
- Going, R.E. et al.: The vitality of microorganisms in carious lesions five years after covering with a fissure sealant. J. Amer. dent. Ass. 97, 455 - 461 (1978)
- Graves, R.C. und Burt, B.A.: The pattern of the carious attack in children as a consideration in the use of fissure sealants. J. prev. Dent. 2, 28 - 32 (1975)
- Greve, H.Chr.: Das Vorkommen und Verhalten des Schmelzoberhäutchens in der Zahnfissur. Dtsch. zahnärztl. Wschr. 38, 1048 - 1050 (1935)
- Gustafson, G.: The histopathology of caries of human dental enamel, with special reference of the division of the carious lesions into zones. Acta odont. scand. 15, 42 - 55 (1957)
- Gustafson, A.G.: A morphologic investigation of certain variations in the structure and mineralization of human dental enamel. Odont. Tidskr. 67, 361 (1959)
- Gwinnett, A.J.: The ultrastructure of the "prismless" enamel of deciduous teeth. Arch. oral. Biol. 11, 1109 - 1115 (1966)
- Gwinnett, A.J.: The ultrastructure of the "prismless" enamel of permanent human teeth. Arch. oral. Biol. 12, 381 - 387 (1967)
- Gwinnett, A.J.: Morphology of the interface between adhesive resins and treated human enamel fissures as seen by scanning electron microscopy. Arch. oral. Biol. 16, 237 - 238 (1971)

- Gwinnett, A.J.: Histologic changes in human enamel following treatment with acidic adhesive conditioning agents. Arch. oral Biol. 16, 731 (1971)
- Gwinnett, A.J., und Buonocore, M.G.: A scanning electron microscope study of pit and fissure surfaces conditioned for adhesive sealing. Arch. oral Biol. 17, 415 - 423 (1972)
- Gwinnett, A.J.: Human "prismless" enamel and its influence on sealant penetration. Arch. oral Biol. 18, 441 - 444 (1973)
- Haikel, Y., Frank, R.M., Voegel, J. C.: Scanning electron microscopy of the human enamel surface layer of incipient carious lesions. Caries Res. 17, 1 - 13 (1983)
- Handelman, S.L., Washburn, F. und Wopperer, P.: Microbiologic aspects of sealing carious lesions. J. prev. Dent. 3, 29 (1976)
- Helmcke, J.-G.: Dental caries in the light of electron microscopy. Int. dent. J. 12, 322 - 344 (1962)
- Helmcke, J.-G.: New results of the electron microscope on shape and structure of normal and pathologically changed teeth. Int. dent. J. 13, 450 - 455 (1963)
- Helmcke, J.-G.: Is the structural pattern of enamel dependent on genetic or environmental factors? Proceedings of the 9th ORCA Congress (1963)
- Helmcke, J.-G., Schulz, L., und Scott, D.B.: Querstreifung der menschlichen Schmelzprismen. Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 569 - 637 (1963)

- Helmcke, J.-G.,
Neubauer, G. und Rau, R.: Schmelzstrukturen und Karies-
prozeß. Dtsch. zahnärztl. Z.
21, 1070 - 1078 (1966)
- Helmcke, J.-G.: Ultrastructure of enamel.
Structural and Chemical Organi-
zation of teeth, Vol. 2, S. 135 -
163, Academic Press Inc., New York
1967
- Hinding, J. H. und
Sveen, O.B.: A scanning electron microscope
study of the effects of acid con-
ditioning on occlusal enamel of
human permanent and deciduous teeth.
Arch. oral. Biol. 19, 573 (1974)
- Hinding, J. H. und
Sveen, O.B.: A SEM study of factors involved
in sealant retention to permanent
and deciduous teeth. JDREAF 53,
Abstract No. 395 (1974)
- Höhling, H.J.: Elektronenmikroskopie-Untersuchun-
gen am gesunden und kariösen Zahn-
schmelz unter besonderer Berücksich-
tigung der Ultramikrotomschnitt-
Technik an nicht entmineralisierter
Substanz. Dtsch. zahnärztl. Z.
16, 694 - 705 (1961)
- Hodson, J.J.: Research on the enamel grooves and
their role in the pathogenesis of
dental caries. Dent. Gaz. 15, 614 -
623 (1949)
- Hodson, J.J.: Study of some of the developmental,
structural, and pathological aspects
of tubular hypoplasia in human ena-
mel. Brit. dent. J. 89, 6 - 13
und 34 - 38 (1950)
- Hoffmann-Axthelm, W.: Lexikon der Zahnmedizin. Quintessenz,
Berlin 1974, S. 199
- Hopewell Smith, A.: Concerning human enamel: Facts,
explanations, and applications.
Dent. Cosmos 68, 639 - 668 (1926)
und 69, 360 - 377 (1927)

- Horowith, H.S. und Peterson, J. K.: Evaluation of examiner variability and the use of radiographs in determining the efficiency of community fluoridation. Arch. oral Biol. 11, 867 (1966)
- Hørsted, M., Fejerskov, O., Joost Larsen, M. und Thylstrup, A.: The structure of surface enamel with special reference to occlusal surfaces of primary and permanent teeth. Caries Res. 10, 287 - 296 (1976)
- Hyatt, T.P.: Prophylactic odontotomy. Dent. Cosmos 65, 234 - 241 (1923)
- Jansen, M.T.: An improved method for the preparation of "serial" sections of undecalcified dental tissues. J. dent. Res. 29, 401 - 406 (1950)
- Jurkschat, U. und Zuhrt, R.: Der Inhalt kariesfreier Fissuren menschlicher Prämolaren und Molaren. Stomat. DDR 27, 8 - 12 (1977)
- Keckaert, G.A.: Electron microscopy of human carious dental enamel. Arch. oral Biol. 18, 751 - 758 (1973)
- Kifer, P. E., Hunt, H. R., Hoppert, C. A. und Witkop, C. J.: A comparison between the width of the fissures of the lower molars of caries-resistant and caries-susceptible albino rats (*Rattus norvegicus*). J. dent. Res. 35, 620 - 629 (1956)
- König, K.G.: Dental Morphology in relation to caries resistance with special reference to fissures as susceptible areas. J. dent. Res. 42, 461 - 467 (1963)
- König, K.G.: Findings in serially sectioned teeth showing early fissure lesions. Adv. Fluor. Res. Dent. Caries Prev. 4, 73 - 79 (1966)

- Kraus, B.S. und Furr, M.L.: Lower first premolars. I. A definition and classification of discrete morphologic traits. J. dent. Res. 32, 554 - 564 (1953)
- Kronfeld, R.: First permanent molar: Its condition at birth and its postnatal development. J. Amer. dent. Ass. 22, 1131 - 1155 (1935)
- Lenz, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen bei beginnender Schmelzkaries. Zahnärztl. Rdsch. 65, 285 - 289 (1956 a)
- Lenz, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen am normalen Schmelz. Dtsch. zahnärztl. Z. 11, 1371 - 1373 (1956 b)
- Lenz, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an der Ameloblastenschicht. Dtsch. zahnärztl. Z. 12, 1568 - 1576 (1957)
- Lenz, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Schmelzgenese. Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 991 - 1105 (1958 a)
- Lenz, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen der organischen Matrix des Schmelzes und des Dentins. Mikroskopie 13, 75 - 82 (1958 b)
- Lenz, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Mineralisation des Zahnschmelzes und der beginnenden Schmelzkaries. Arch. oral. Biol. 4, 34 - 39 (1961)

- Lenz, H. und Mühlemann, H.R.: Repair of etched enamel exposed to the oral environment. *Helv. odont. Acta.* 7, 47 (1963)
- Lenz, H.: Ultrastruktur des Zahnes in bezug auf Mineralisation, Demineralisation und Remineralisation. *Int. dent. J.* 17, 693 - 708 (1967)
- Lewis, D.W. und Hargreaves, J.A.: Epidemiology of dental caries in relation to pits and fissures. *Brit. dent. J.* 138, 345 - 348 (1975)
- Liem, R.S.B., Jansen, H.W.B.: Preparation of partially decalcified sections of human dental enamel for electron microscopy. *Caries Res.* 16, 217 - 226 (1982)
- Lovius, B.B.J. und Goose, D.H.: The effect of fluoridation of water on tooth morphology. *Brit. dent. J.* 127, 322 (1969)
- Lutz, F. Schneider, Ph.: Prophylaktische und therapeutische Versiegelung. In: *Prophylaxe*, hrsg. von Peters, S. Quintessenz, Berlin 1978
- Marthaler, T.M.: Advances in fluorine research and dental caries prevention. Vol. 4., Pergamon Press 1966
- Meckel, A.H., Griebstein, W.J. und Neal, R.J.: Structure of mature human dental enamel as observed by electron microscopy. *Arch. oral Biol.* 10, 775 - 783 (1965)
- Miller, J.: Biannual treatment with silver nitrate sodium fluoride and copper cement in the prevention of dental caries. *Dent. practit.* 1, 7 (1950)
- Miller, J. und Hobson, P.: Determination of the presence of caries in fissures. *Brit. dent. J.* 100, 15 - 18 (1956)

- Miyoshi, S., Nakata, T.,
und Nishijima, S.: Scanning electron microscopy of
prismless enamel in human teeth.
Arch. oral Biol. 17, 359 (1972)
- Mortimer, K. V.: Some histological features of
fissure caries in enamel. Advanc.
fluor. Res. 2, 85 - 94 (1964)
- Mortimer, K.V.: The relationship of deciduous enamel
structure to dental disease. Caries
Res. 4, 206 - 223 (1970)
- Mortimer, K.V. und Tranter, A scanning electron microscope study
T.C.: of carious enamel. Caries Res. 5,
240 - 263 (1971)
- Nagano, T.: Relation between the form of pit and
fissure and the primary lesion of
caries. Shikwa Gakuho, 60, 80 (1960)
zit. aus Dent. Abstr. 6, 426 (1961)
- Newbrun, E.: Cariology. The Williams + Wilkins
Comp., Baltimore 1978, S. 44 - 69
- Newesely, H.: Über De- und Remineralisationsvor-
gänge in Oberflächenbereichen des
Zahnschmelzes. Kariesprophylaxe
3, 61 - 65 (1981)
- Ooya, K.: A scanning electron microscopic study
on the differences between newly
erupted teeth and old teeth with re-
ference to fissure enamel surfaces
and contents. Bull. Tokyo med. dent.
Univ. 24, 89 - 102 (1977)
- Ornelas, Y. und Feather- Rates of progress of artificial
stone, J.D.B.: carious lesions in deciduous and
permanent human enamel. JDREAF 62:
Abstract No. 161 (1983)
- Pilz, W.: Über das Kariesinitial im Schmelz-
faltenrelief menschlicher Zähne.
Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 538 - 547
(1967)

- Pilz, W.: Einige kritische Bemerkungen zur lokalen Kariesprophylaxe des Kauflächenreliefs. Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 755 - 767 (1968)
- Plattner, C.-H. und Zurth, R.: Dispositionsändernde Kariesprophylaxe. Dtsch. Stomat. 19, 637 - 642 (1969)
- Provenza, D.V.: Oral histology. Inheritance and development. Lippincott, Philadelphia 1964
- Reenen, J.F., van: Tendenzen in der Entwicklung des menschlichen Gebisses. Quintessenz 19, 123 - 127 (1968)
- Riethe, P.: Die phylogenetische Reduktion der menschlichen Zähne. Stoma 11, 199 (1958)
- Riethe, P.: Pro und Kontra Fissurenversiegelung. Kariesprophylaxe 3, 75 - 85 (1980)
- Riethe, P.: Verhütung kariöser Läsionen. Initialstadium, De- und Remineralisationsvorgänge. Zahnärztl. Mitt. 72, 1124 - 1136 (1932)
- Riethe, P.: Grübchen und Fissuren. Kariesprophylaxe 4, 75 - 82 (1982)
- Ripa, L.W., Gwinnett, A.J. und Buonocore, M.G.: The "prismless" outer layer of deciduous and permanent enamel. Arch. oral Biol. 11, 41 - 48 (1966)
- Ripa, L.W. und Cole, W.W.: Occlusal sealing and caries prevention: Results 12 months after a single application of adhesive resin. J. dent. Res. 49, 171 - 173 (1970)
- Robinson, C., Weatherell, J.A., Hallsworth, A.S.: Distribution of magnesium in mature human enamel. Caries Res. 15, 70 - 77 (1981)

- Rock, W.P., Gorden, P.H. und Bradnock, G.: The effect of operator variability and patient age on the retention of fissure sealant resin. Brit. dent. J. 145, 72 - 75 (1978)
- Rost, M.: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der initialen Fissurenkaries mit besonderer Berücksichtigung der prismenfreien Zonen. Med. Diss. Tübingen, 1983
- Rotgans, J. und Tobien, P.: Die präventive Behandlung von Fissuren: Kariesprophylaxe 3, 89 - 96 (1981)
- Sauerwein, E.: Kariologie mit kurzgefaßter Histologie und Histopathologie des Zahnes. Thieme, Stuttgart 1974, S.280 - 285
- Schour, I., und Massler, M.: Studies in tooth development: The growth pattern of human teeth. J. Amer. dent. Ass. 27, 1918 - 1931 (1940)
- Schroeder, H.E.: Orale Strukturbiologie. Thieme, Stuttgart 1976
- Sieling, H.: Kariesepidemiologische Untersuchungen an 7 - 13jährigen Berliner Schulkindern über die Verteilung der kariösen Läsionen auf die einzelnen Zahnflächen. Diss. Berlin 1982
- Simmelink, J.W. und Nygaard, V.K.: Ultrastructure of striations in carious human enamel. Caries Res. 16, 179 - 188 (1982)
- Speirs, R.L.: The nature of surface enamel in human teeth. Calc. Tiss. Res. 8, 1 - 16 (1971)
- Tadokoro, Y., Iwaku, M. und Fusayama, T.: A laboratory report on vibration etching for fissure sealants. J. dent. Res. 61, 780 - 785 (1982)

- Takeuchi, M., Shimizu, T., Kizu, T., Eto, M., Nakaawa, M., Ohsawa, T. und Oishi, T.: Sealing of the pit and fissure with resin adhesive IV: results of a 5 years' field work for caries prevention. Bull. Tokyo dent. Coll. 12, 295 - 316 (1971)
- Theilade, E. und Larson, R.H.: Studies of microbiological accumulations in artificial fissures implanted in human molars. Caries Res. 6, 77 (1972)
- Theilade, E., Larson, R.H. und Karring, T.: Microbiological studies in artificial fissures implanted in human teeth. Caries Res. 7, 130 - 138 (1973)
- Theilade, E., Fejerskov, O. und Hørsted, M.: A transmission electron microscopy study of 7-day old bacterial plaque in human tooth fissures. Arch. oral. Biol. 21, 587 - 589 (1976)
- Thom, G.: Präzision und Reproduzierbarkeit von Fissurenquerschnittsmessungen. Dtsch. Stomat. 22, 489 - 501 (1972)
- Thott, E.K., Folke, L.E.A., und Sveem O.B.: A microbiologic study of human fissure plaque. Scand. J. dent. Res. 82, 428 (1974)
- Vahl, J., Höhling, H.J., Plačková, A. und Bures, H.: Elektronenmikroskopische Ultradünnschnittuntersuchungen an Zähnen mit Schmelzflecken, herrührend von initialer Karies, artifizieller Karies und Mineralisationsstörungen. Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 983 - 989 (1966)
- Walsh, J.P. und Smart, R. S.: The relative susceptibility of tooth surfaces to dental caries and other comparative studies. N.Z. dent. J. 44, 17 (1948)
- Yoshikazu, I., Takeshi, Y., Ryoichi, A., Tomohiro, K. und Akie, O.: Occurance of idiopathic mottling of enamel in 1.678 children aged from 6 to 11 years. The Bull. of Kana-gawa dent. Coll. 3, 41 - 46 (1975)

- Zuhrt, R. und Vierus, H.: Zur metrischen Bestimmung und pathogenetischer Bedeutung der Fissurenform. Stoma 20, 260 - 270 (1967)
- Zuhrt, R.: Morphologische Ursachen für den bei den einzelnen Zahntypen unterschiedlich hohen Kariesbefall der okklusalen Prädilektionsstelle menschlicher Zähne. Dtsch. Zahnärztebl. 21, 548 - 555 (1965)
- Zuhrt, R., Reussel, G. und Vierus, H.: Fissurenquerschnitt und Kariesdisposition. Dtsch. Stomat. 21, 160 - 163 (1971)

Für die Überlassung des Dissertationsthemas, für seine freundliche und stete Hilfsbereitschaft bei der Durchführung dieser Arbeit sowie für die anregenden Diskussionen möchte ich Herrn Professor Dr. Hans Lenz recht herzlich danken.

Ebenso gilt mein Dank Frau Jutta Butzengeiger, Frau Anne-dore Kähler und Frau Birgit Scheidereiter für ihre große Hilfe bei den elektronenmikroskopischen Untersuchungen und den fototechnischen Arbeiten.

L E B E N S L A U F

Am 28. Juni 1955 wurde ich als Sohn des Zahnarztes Lothar Purucker und seiner Ehefrau Christa Purucker, geb. Scholze, in Marktredwitz geboren.

Nach Übersiedlung meiner Familie nach Nürnberg besuchte ich die dortige Volksschule. Im Anschluß daran, 1966, wechselte ich auf das Leibniz-Gymnasium in Altdorf bei Nürnberg über und legte dort am 21. Juni 1975 das Abitur ab.

Darauf folgten drei Semester Studium der Physik und Biologie an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Zum Sommersemester 1977 begann ich das Studium der Zahnmedizin an der Freien Universität Berlin.

Am 16. August 1982 bestand ich das Staatsexamen in Zahnmedizin und am 25. August 1982 erhielt ich die Approbation als Zahnarzt.

Zur Erstellung meiner Dissertation arbeite ich seit Oktober 1982 in der Abteilung von Herrn Professor Dr. Hans Lenz auf dem Gebiet der Mikromorphologie und Kariesforschung.

